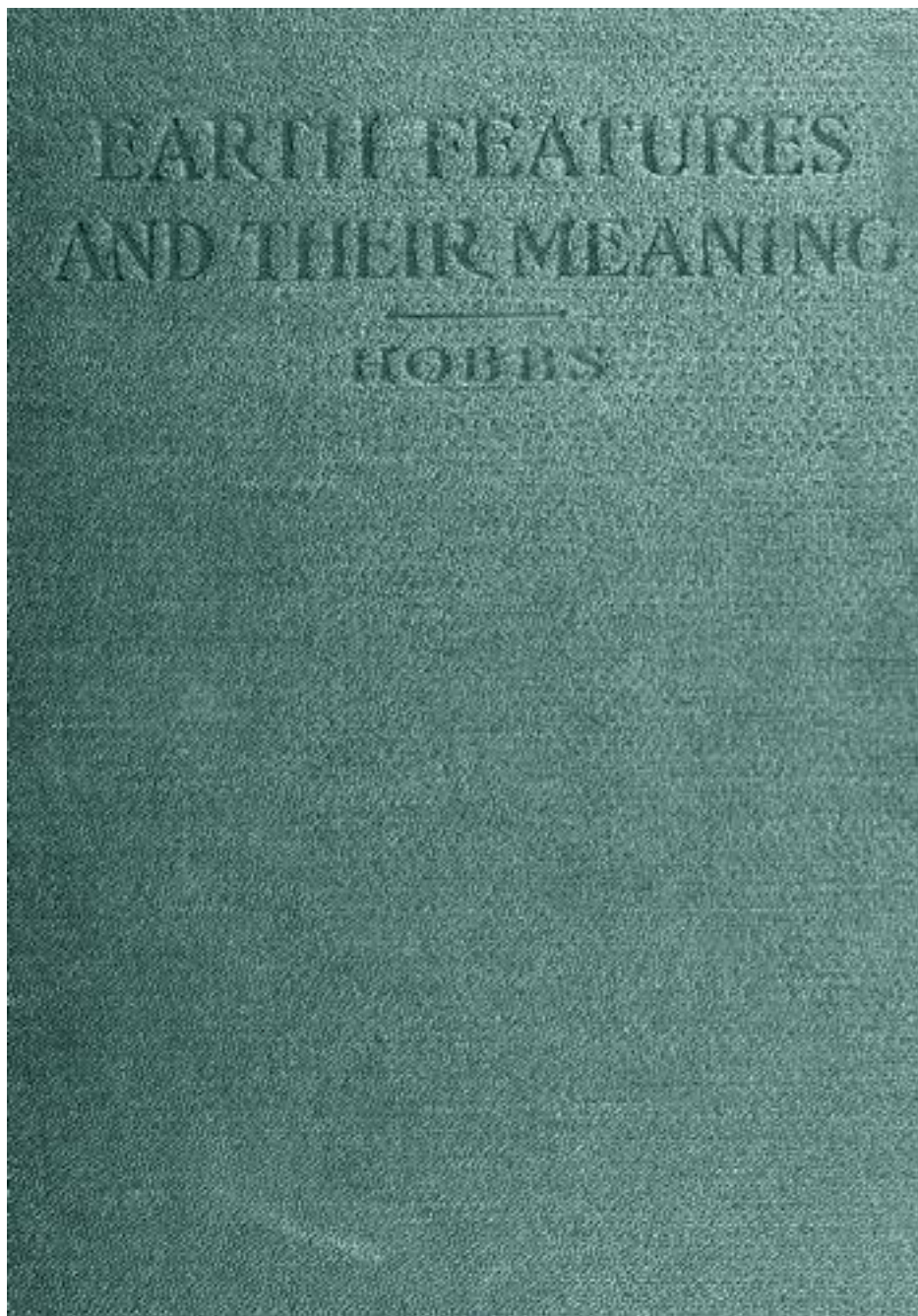


Особенности Земли и их значение. Введение в геологию для студентов и широкого круга читателей

Уильям Герберт Хоббс



Электронная книга проекта "Гутенберг" о особенностях Земли и их значении

Эта электронная книга предназначена для использования любым человеком в любой точке Соединенных Штатов и в большинстве других частей мира бесплатно и практически без каких-либо ограничений. Вы можете скопировать его, раздать или повторно использовать в соответствии с условиями лицензии Project Gutenberg, прилагаемой к этой книге, или онлайн по адресу www.gutenberg.org. Если вы находитесь за пределами Соединенных Штатов, вам необходимо ознакомиться с законами страны, в которой вы находитесь, прежде чем использовать эту электронную книгу.

Название: Особенности Земли и их значение

Автор: Уильям Герберт Хоббс

Дата выхода: 12 декабря 2015 г. [Электронная книга № 50671]

Последнее обновление: 22 октября 2024 г.

Язык: Английский

Кредиты: Электронный текст подготовлен Джованни Фини и командой онлайн-корректоров (<http://www.pgdp.net>) на основе изображений страниц, щедро предоставленных Internet Archive (<https://archive.org>)

*** НАЧАЛО ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОННОЙ КНИГИ ГУТЕНБЕРГА "ОСОБЕННОСТИ ЗЕМЛИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ" ***

Электронная книга проекта Гутенберга "Особенности Земли и их значение" Уильяма Герберта Хоббса

Примечание: Изображения оригинальных страниц доступны через интернет-архив. Посмотреть <https://archive.org/details/cu31924004975763>

ОСОБЕННОСТИ ЗЕМЛИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ



КОМПАНИЯ MACMILLAN

НЬЮ-ЙОРК · БОСТОН · ЧИКАГО ДАЛЛАС · САН - ФРАНЦИСКО

MACMILLAN & CO., Limited

ЛОНДОН · БОМБЕЙ · КАЛЬКУТТА МЕЛЬБУРН

КОМПАНИЯ MACMILLAN CO. ИЗ КАНАДЫ, Ltd.

ТОРОНТО

Рисунок 1.



Гора Бальфур и ледник Бальфур в Селкирксе.

ОСОБЕННОСТИ ЗЕМЛИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ В ГЕОЛОГИЮ ДЛЯ СТУДЕНТОВ И ШИРОКОГО ЧИТАТЕЛЯ

УИЛЬЯМ ГЕРБЕРТ ХОББС

ПРОФЕССОР ГЕОЛОГИИ МИЧИГАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА, АВТОР КНИГ “ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ. ВВЕДЕНИЕ В СЕЙСМИЧЕСКУЮ ГЕОЛОГИЮ”; “ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЛЕДНИКОВ” И ДР.

Нью - Йорк КОМПАНИЯ " МАКМИЛЛАН " , 1921

Все права защищены

Авторское право, 1912 год, Компанией MACMILLAN COMPANY.

Норвуд Пресс Дж. С. Кушинг Ко.—Berwick & Smith Co. Норвуд, Массачусетс, США

ПАМЯТИ ДЖОРДЖА ХАНТИНГТОНА УИЛЬЯМСА

ПРЕДИСЛОВИЕ

Серия чтений, содержащихся в настоящем томе, дает в несколько расширенной форме содержание курса иллюстрированных лекций, который вот уже несколько лет читается каждый семестр в Мичиганском университете. Лейтмотив курса можно найти в доминирующих характеристиках различных объектов земли и геологических процессах, которые проявились при их формировании. Такое геологическое исследование ландшафта изобилует захватывающими открытиями и придает изучению Природы глубокий смысл, который не может не усиливать наслаждение ее разнообразными аспектами.

Считается, что о том, что в университете есть реальное место для такого культурного изучения геологии, свидетельствует растущее число студентов, выбравших эту работу. Даже чаще, чем в прежние годы, американец путешествует вдаль на автомобиле или пароходе, и, таким образом, объекты земной поверхности во всем их многообразии один за другим разворачиваются перед ним. Тысячи людей, которые каждый год пересекают Атлантику, чтобы побродить по европейским странам, могут с помощью изучения истории, литературы или искусства подготовиться к получению изысканного удовольствия от посещения мест, связанных с прошлыми достижениями в той или иной форме. И все же побережье Ла-Манша, ущелье Рейна, ледники Швейцарии и дикие пейзажи Норвегии или Шотландии могут рассказать о своей увлекательной истории, гораздо более отдаленной и разнообразной. Чтобы прочесть эту историю, прежде всего необходимо овладеть руническими знаками, которыми она написана; ибо в каждом пейзаже есть сильные индивидуальные черты характера, которые художник пером умело извлек бы для наброска. Такие *профили персонажей* часто многократно повторяются в каждом пейзаже, и в них мы находим ключ к историческим записям.

Цель настоящих чтений, таким образом, состояла в том, чтобы дать возможность учащемуся самому выделить в каждом пейзаже эти наиболее значимые черты и, таким образом, читать непосредственно с натуры. В пейзажах, которые были представлены, цель состояла в том, чтобы максимально приблизить места, хорошо известные путешественникам и, вероятно,

посещаемые либо из-за их исторического интереса, либо из-за их чисто живописных достопримечательностей. Таким образом, у туриста в Америке или Европе должна быть возможность изучать ландшафт всякий раз, когда он отправляется в свое путешествие. Чтобы лучше помочь ему в этом начинании, в приложении приведены некоторые рекомендации относительно маршрута поездок.

Рассматриваемая как учебник геологии, настоящая работа предлагает некоторые отступления от существующих примеров. Хотя было принято объединять в одном тексте историю с динамической и структурной геологией, уже стала очевидной тенденция рассматривать историческое деление отдельно от других. Опять же, желание всесторонне рассматривать геологическую науку привело некоторых авторов к включению в нее такого количества тем, что их тексты стали излишне энциклопедичными и, соответственно, неинтересными для широкого читателя. Автор убежден, что существует реальная потребность в книге, которая могла бы быть разумно прочитана широкой публикой, и следует признать, что новичок в предмете не может охватить всю область одним курсом чтения. Таким образом, настоящая работа была подготовлена с целью отбора для изучения тех доминирующих геологических процессов, которые лучше всего иллюстрируются особенностями на севере Северной Америки и Европы. Именно это желание проиллюстрировать прочитанное путешествиями за пределы страны объясняет большое значение, придаваемое теме оледенения; поскольку большее количество колледжей и университетов как в Америке, так и в Европе окружено тяжелыми отложениями, образовавшимися в результате прежних оледенений.

Особое внимание также уделялось зависимости доминирующих геологических процессов любого региона от существующих климатических условий - факту, которому обычно уделялось слишком мало внимания. Это объясняет довольно полную трактовку пустынных регионов, многое из которых, особенно в нашей стране, можно проиллюстрировать на примере трансконтинентальных железнодорожных переездов.

Здесь в большей степени, чем в большинстве текстов, была предпринята попытка учить непосредственно глазами с эффективной помощью подходящих иллюстраций, тесно переплетенных с текстом. За такой успех, достигнутый в этом начинании, автор в большом долгу перед двумя студентами Мичиганского университета — мистером Джеймсом Х. Мейером, который подготовил линейные рисунки пейзажей, и мистером Хью М. Пирсом, который нарисовал диаграммы. Хотя в большинстве случаев отдавалось должное иллюстрациям, сделанным по чужим фотографиям, здесь следует особо упомянуть о долге доктору Х. У. Фэрбенксу из Беркли, Калифорния, чьи прекрасные и поучительные фотографии воспроизведены на многих страницах.

Лекции, прочитанные в Мичиганском университете, отраженные в настоящем томе, дополняются экскурсиями и таким объемом лабораторной практики, который необходим для ознакомления с наиболее распространенными минералами и горными породами и для осмысленного чтения обычных топографических и геологических карт. В приложениях были указаны средства для проведения таких исследований, частично с помощью недавно разработанного оборудования.

Объем книги исключает возможность познакомить читателя с источниками для изложения совокупности фактов и теорий, хотя о многом можно сделать выводы из названий, которые появляются под иллюстрациями, а более определенные знания можно найти в ссылках на литературу, приведенных в конце глав. Большое количество оригинальных и неопубликованных материалов по той же причине не помечено, и профессиональному

геологу было предоставлено возможность обнаружить эти новые нити, которые были втянуты в паутину.

УИЛЬЯМ ГЕРБЕРТ ХОББС.

Энн-Арбор, Мичиган, 25 октября 1911 года.

Содержание

Глава I

составление истории Земли

страницы

источникам по истории—подразделения геологии—изучение особенностей земли и их значение—табличный перепросмотр—геологические процессы не универсальна—изменение, а не стабильность, порядок природы—наблюдения геологии *против* спекулятивной философии—научного отношения и нрав—значение гипотезы в разделе Литература

1

Глава II

фигура Земли

литосферы и его габариты—эволюция представлений о земной цифра—сплюснутостью земли—расположение океанов и континентов—фигура, к которой на земле клонится—астрономические *против* геодезические наблюдения—изменениям фигуры во время сокращения сферическое тело—Ранние рисунки из земли—материки и океаны в конце палеозойской эры—в затопленных участков нынешние материки—полы в гидросфере и атмосфере—читать литература

8

Глава III

характер материалов в литосфере

жесткой качества нашей планеты—вероятный состав ядра Земли—Земля Магнит—как химический состав земной поверхности корпуса—сущность кристаллы—литосферы комплекс взаимосвязанных кристаллов—Некоторые свойства природных кристаллов, минералов, изменения минералов—чтение литературы

20

Глава IV

пород земной поверхности оболочки

процессы, посредством которых формируются камни—следы происхождения метаморфических горных пород—характеристика текстуры магматических пород—в классификации пород—подразделений осадочных пород—различных месторождениях океан, озеро, и река—специальные знаки прибрежно-морские месторождения—порядка осаждения в условиях трансгрессии моря—бассейны осаждения более раннем возрасте—отложения морских глубин—читать литература

30

Глава V

искажений слоев в пределах зоны потока,
зон трещиноватости и поток—опыты, иллюстрирующие разрушения и течения
твердых тел—своды и впадины сложены слоями—элементы складки—формы
рок-складки—пять раз—восстановление изуродованных складки—Геологическая
карта и раздел—измерение толщины пластов—обнаружение погружаясь
складки—смысл несогласия—чтение литературы

Глава VI

архитектуры перелом надстройка
системе переломы—пространство интервалами швов—смещение швов по:
недостатки—методы обнаружения ошибок—основа геологической карте—поле
карте и площадной геологической карте—лабораторной модели для изучения
геологических карт—способ подготовки карте раз и виноват рельеф местности—
Читая список литературы

Глава VII

Прерванный характер движения Земли: землетрясения и Seaquakes
природы подземных толчков—Seaquakes и сейсмические морские волны—чем
меньшее землю движения—изменения в земной поверхности во время
землетрясений: разломы и трещины—мера перемещения—сжатия земной
поверхности во время землетрясений—план землетрясение неисправность—
блок движения возмущенного район—земля блоков корректируется во время
Аляскинского землетрясения 1899

Глава VIII

Прерванный характер движения Земли: землетрясения и Seaquakes (вывод)
Экспериментальная демонстрация движения Земли—нарушение подачи воды на
земле движение песка или грязи шишки и craterlets—земли зон сильных
землетрясений на специальных линиях тяжелого ударно—Сейсмотектонических
линии—тяжелые толчки, превышающие свободный фундаментов—
строительство в районах землетрясений—чтение литературы

глава IX

подъеме расплавленной магмы на земную поверхность; Вулканические горы экссудацией
, распространенных заблуждений о вулканах—начале мнениями о
вулканической горы—рождение вулканов—действующих и потухших вулканов
планеты Вулкан ремни—организация жерлах вулканов вдоль трещин, и особенно
на перекрестках—так называемые трещинные извержения, состав и свойства
лава—три основных типа извержения горно—вулканический купол—
базальтового лавового купола Гавайи—Лава движений в котел Килауэа—слива
лавы котлы—отток лавы наводнения

глава X

подъеме расплавленной магмы на земную поверхность; Вулканические горы выброшенного
материалов
механика воронки взрывов—грандиозные извержения вулканов шлаковых
конусов—извержение вулкана в 1888 г.—Извержение вулкана Тааль на 30 января
1911—материалы и структуры шлаковых конусов—профиля линии шлаковых
конусов—композитного конуса—кратера составных конусов—извержение
Везувия в 1906—последовательность событий в дымоходе—хребет Пеле—после

грязевых потоков—вскрытие вулканов—формирование лавовых пластов
символов профилей—чтение литературы

глава XI

нападения погода

на две противопоставляемые процессов выветривания—в очередности из
просачивающейся воды—Механический результаты разложения:
сфероидальное выветривание—пилинг или масштабирования—купольной
конструкции в гранитных масс—любопытных работе мороза—делювиальных—
почвенного потока в постоянное присутствие талая вода—это расщепление
клинья корней и деревьев—породы мантии и ее щит в мат растительности—
чтение литературы

149

глава XII

жизни истории из рек

причудливый рисунок реки офорты—движущая сила рек—Старая земля и Новая
Земля—ранее аспекты рек—сетки речной сети—В верховьях и низовьях реки
противопоставляется—баланс между деградацией и Намыв—в соответствии с
притоком долины—сортировать пойменных—циклы потока меандры—отсечения-
Меандр—Меандр шрамы—речные террасы—дельты реки—дамба—секции
Дельта депозиты

158

глава XIII

Земли особенности формы проточной водой

вновь надрезают возвышенности и ее острые salients—стадия отрочества—к
взрослому расчлененные возвышенности—Линия Hogarthian красоты—
конечный продукт реки скульптуры: на пенепленах—речного сечения
последовательных этапа—Закрепление меандры с новой подъем—долина реки
омолаживались—арест трансляция эрозии более стойкие породы—захват одной
реки к другой—воды и ветра пробелы—символ профилей—чтение литературы

169

глава XIV

путешествиях подземных вод

при спуске в зоне аэрации магистральных каналах нисходящей водной пещеры
известняки—поноры и известковыми раковинами—агломерационной вклады—
Рост сталактитов—сталагмитов образования—карстовые и его особенности в
пустыне от уничтожения лесов—ропге и на поле—возврат воды на
поверхность—артезианские скважины—термальные источники и гейзеры—
отложение кремнистой накипи на рост растений—читать литература

180

глава XV

Солнца и ветра на землях редкими дождями

закон пустыни—самостоятельно регистрировать датчик климат в прошлом—
характеристики которого содержат признаки пустыни отходы—сухие
выветривания: красные и бурые пустынные лаком—механическое повреждение
пустынных скал—естественный взрыв песка—пыль нес из пустыни

197

глава XVI

в особенности в пустынных ландшафтах

блуждающие дюны—формы дюн—ливень в пустыне—зона сокращается речной
эрозии в пустыне—характерные особенности аридных земель—война дюны и

209

оазисы—происхождение высоких равнин, которые перед Скалистых гор—
характер—Значение ссылок

глава XVII

повторяющиеся в земной рельеф

выветривание-процессы под контролем перелом системе—перелом контроля 223
линии дренажа—повторяющийся шаблон в дренажных сетей на разделительные
линии рельефа модели: линеаментов—составное повторяющиеся узоры из
высших орденов—значение ссылки

глава XVIII

формы резной и литой волнами

движения воды волны свободные волны и выключатели—эффект набегающей 231
волны на крутом, скалистом берегу: фигурный скалами бухт, море, арки, и
штабелями—в скальных террас—вырезать и причине террасе на крутом берегу
сыпучих материалов—работа берегу ток—песчаный пляж—галечный пляж—бар,
вертел, и барьер—земля-ничейный остров—барьер серия—характер—Читать
литература

глава XIX

побережье отчеты расти или падать на Землю

персонажей, в котором сохранилась—даже береговой линии отметки подъема— 245
рваную береговую линию отметки грунта—медленное поднятие берегов;
прибрежная равнина и Куэста—внезапных поднятий побережья—воздетых
скалы—это, подняв барьер—Бич-береговой террасы—докатились или бухты
побережья—затопленные русла рек—отчеты колебания движения—
одновременная противоположных направлений на побережье—контрастных
островами Сан-Клементе и Санта-Каталина—Голубой Грот Капри—символ
профилей—чтение литературы

глава XX

ледники, горы и континенты

условия, необходимые для развития оледенения—линии вечных снегов,— 261
Важность горных барьеров в организации ледники—ледники чувствительность к
температурным изменениям—цикл оледенения—продвижение полукруг—
континентальных и горных ледников контрастировала—питание ледников—
верхняя и нижняя облачность зон атмосферы

глава XXI

континентальных ледников полярных областей

материкового льда Гренландии—гора валом и его порталами—в маргинальную 271
Рок-острова—Рок-фрагменты, которые путешествуют с лед—мельница подо
льдом—Снятие шлифовальные инструменты и включение их в лед тает на полях
ледников в Гренландии—краевых Морен—зандровой равнины или фартук—
континентальный ледник Антарктиды—питание континентальные ледники—
ледник веник—поле и паковый лед—дрифт стаи—антарктического шельфа
льда—айсберги и snowbergs и порядке их рождения—значение ссылки

глава XXII

континентальные ледники “Ледниковый период”

ранних циклов оледенения—В отличие от оледенения и nonglaciaded регионах—в 297

“водной зоне”—характеристики на покрытых льдом районах—ледник гревиньш—младший записей за старшего: ледник палимпсест—дисперсия дрифт—алмазы дрифт—табличное сравнение оледенения и nonglaciatiated регионов—Unassorted и разных дрифт—особенности, на которые дрейфа формируется—маргинал или “чайник” Морен—Зандровой равнины, изрытой равнины и Морены interlobate—Озовые холмы—друмлины—шельф льда ледникового периода—характер профили

глава XXIII

ледниковые озера, отмечается упадок последнего ледникового периода

ледники вмешательство с дренированием—временные озера из-за льда блокировки Эти “дублиеры” шотландского гленс—ледникового озера Агассис—эпизоды ледниковое озеро в долине Св. Лаврентия—серповидный озер более ранних этапах—в начале озера Моми—Моми позднее озера—озера Аркона и розничная торговля—Лейк Уоррен—озера ирокезы и алгонкины—в Ниписсинг Великих озер—резюме озера этапов—постоянные изменения в дренаж осуществляется на ледник—Ледниковое озеро Оджибве в Хадсон-Бей водосборного бассейна—Значение ссылки

320

глава XXIV

в Upright Земли в конце Ледникового периода

реакции оболочки Земли с ее ледяной мантии—заброшенный пряди, как они появляются в день—записи из вздымать о Макинак-Айленд—настоящему склонностей, подняв нити—петли линии upright—будущие последствия продолжающегося upright в регионе озера—Гилберта пророчества о будущем выходе из Великих озер до Миссисипи—геологические свидетельства продолжил подъем—Утопление в Юго-Западном берегу озера Суперитор и Эри—значение ссылки

340

глава XXV

Ниагара-Фолс в часы недавнего геологического времени

имеет в Ниагара—бурение ущелье—настоящий спад—будущее исчезновение американского осень—захваченные канадский попадают в WinterGreen квартиры—джакузи бассейна, вынутый из Сент-дейвидс ущелье—формирование Льюистон крутость—эпизод Ниагара истории и их взаимосвязи с деятельностью ледниковых озер—Раз мер Ниагара-часы—куранты на конец ледникового периода в Скандинавии—значение ссылки

352

глава XXVI

земель скульптура горных ледников

контрастирует ваять материковых и горных ледников, ветра распределения снегом, который выпадает в горах—в нишах, которые образуют на сугроб сайтах дополненная сугроб движется вниз по долине: рождение ледник—раскопки ледяной амфитеатр или цирк—жизнь, история цирка—калиброванная и резные нагорья—с резными выше ледника—особенности формы под ледником—Каскадной лестнице в ледник-резные долины—символ профилей, которые возникают в результате скульптура горные ледники—скульптура выполнена льдов—норвежская причинить или улей горы—чтение литературы

367

глава XXVII

последовательных ледник видах за репутацию оледенения

переход от ледниковой шапки на горный ледник—Пьемонт ледник— расширенное подножия ледника—дендритные ледник—излучающих ледник— ледник подкову—к наследству-бассейн ледника—итог типы горных ледников— значение ссылки	383
глава XXVIII	
ледника поверхностей и отложениях на его ложа	
ледника поток—трещины и séracs—органы бросил на ледник Боссон—морены— селективного плавления на поверхности ледника—ледник канализация—вклады в освободившиеся долина—Маркировка начале оккупации гор ледниками— читать литература	390
глава XXIX	
изучение озерных бассейнов	
с пресной водой, и соленые озера—Ньюленд озера—бассейна-ряд озер— разлом-долина озер—землетрясение озера—кратера озера зеленом районе озер моренных озер—озер, ямы—блеск или цолк озера—лед-плотина озера— ледниково-лепесток озер—рок-озер—Долина моренных озер—озер обвалью— границы озера—старицы—озера блюдца—серповидный дамбы озера—Плот озер стороне-дельтовые озера—дельтовые озера—озера барьер—дюны озера— раковина озера—карстовые озера: <i>poljen</i> —Плайя озерами—Салинас— Аллювиально-водохранилища—резюме—значение ссылки	401
глава XXX	
эфемерное существование озер	
озер, а отстойников—подача воды, эрозии из розетки—вытягивая в мысов и отрезав заливов—озеро исчезновения торфа роста, исчезновения озер в пустынных регионах—в роли озер в экономике природы—ледяные валы на берегах озер—Чтение литературы	426
глава XXXI	
происхождение формы горы	
горы определено—фестоны из горной дуги—теорий происхождения горной дуги—Атлантического и Тихоокеанского побережий контрастировала—блок типа горы—горы оттока или <i>urhear</i> —куполообразные горы подъема; <i>laccolites</i> —горы вырезанная из плато—климатические условия горного скульптура—эффект стойкого слоя—признак трещины в разрушенных гор—значение ссылки	435
приложения	
А. Быстрое определение распространенных минералов	449
В. Краткие описания некоторых распространенных горных пород	462
С. Составление топографических карт	467
Д. Лабораторные модели для изучения при интерпретации геологических карт	472
Е. Рекомендуются маршруты для паломничества с целью изучения особенностей земли	475
Индекс	489

СПИСОК ТАБЛИЧЕК

ТАБЛИЧКА

1.	Гора Бальфур и ледник Бальфур на Селкиркса, ОБРАЩЕННОМ к СТРАНИЦЕ	<i>фронтисписе</i>
2.	A. Слои, сжатые в ходе экспериментов и демонстрирующие влияние компетентного слоя в процессе складывания	44
	B. Экспериментальное получение серии параллельных толчков внутри плотно сложенных слоев	44
	C. Устройство для иллюстрации сдвигающего действия в перевернутом конце складки	44
3.	A. Землетрясение открылось на Формозе в 1906 году с объединенными вертикальными и боковыми смещениями	72
	B. Землетрясения открылись на Аляске в 1889 году на какие вертикальные срезы земной оболочки подверглись индивидуальным корректировкам	72
4.	A. Экспериментальный резервуар для иллюстрации движений земли, которые проявляются при землетрясениях. Здесь представлены	82

		участки земной оболочки до того, как произошла корректировка	
	B.	Тот же самый аппарат после внезапной настройки	82
	C.	Модель для иллюстрации смещения блоков в горных породах, которые пересекаются основными соединениями	82
5.	A.	Некогда лесистый регион в Китае теперь превратился в пустыню из-за вырубки лесов	156
	B.	“Плохие земли” в пустыне Колорадо	156
6.	A.	Бесплодный карстовый ландшафт возле знаменитых гrotтов Адельсберга	188
	B.	Поверхность известнякового выступа, где швы были расширены раствором	188
7.	A.	Гряды дюн на окраине пустыни Колорадо	210
	B.	Песчаные дюны, вторгающиеся в оазис Уэд-Суф, Алжир	210
8.	A.	Гранитные иглы пика Харни в Черных холмах Южной Дакоты	216
	B.	Зубчатые эрозионные трубы в Эль-Кобра-Каньон, Нью-Мексико	216

9.	Карта высоких равнин на восточном склоне Скалистых гор	220
10.	А. Вид на Шпицберген, иллюстрирующий разрушение горных пород под контролем швов	228
	Б. Сложный рисунок структур швов в недавних аллювиальных отложениях сирийской пустыни	228
11.	А. Следы ряби в древнем песчанике	232
	Б. Волна разбивается при приближении к берегу	232
12.	А. V-образный каньон, вырубленный на возвышенности, недавно поднявшейся над морем, остров Сан-Клементе, Калифорния	256
	Б. “Хребет” у подножия гор Бигхорн, Вайоминг	256
13.	А. Обрывистый фронт выхода ледника Брайант из внутреннего льда Гренландии	272
	Б. Боковой поток у выхода из ледника Бенедикт, Гренландия	272
14.	Вид на окраину антарктического континентального ледника на Земле Кайзера Вильгельма	282
15.	А. Подножие антарктического льда с высадкой группы лодок	290
	Б. Вид вблизи передней	290

		части Большого барьера Росса, Антарктида	
16.	A.	Рельеф местности в пределах “зоны без дрейфа”	300
	B.	Застроенный рельеф в пределах оледенелой области	300
17.	A.	Подошвенные ледниковые валуны, на которых видны поразному направленные борозды на одной и той же грани	306
	B.	Лежащий валун на бороздчатом выступе другого типа породы, Бронкс-Парк, Нью-Йорк	306
	C.	Характерный выступ и поверхность впадины морены	306
18 .	A.	Рельефная возвышенность Альп, видимая с вершины горы Блан	372
	B.	Модель ледника Маласпина и рельефной возвышенности над ним	372
19.	A.	Контурная карта рельефной возвышенности, горы Бигхорн, Вайоминг	372
	B.	Контурная карта рельефной возвышенности, четырехугольник Филипсбург, Монтана	372
20.		Карта поверхности, смоделированной горными ледниками в Сьерра-Неваде в Калифорнии	376
21.	A.	Вид на ледник Гарвард, Аляска, с	394

		характерными террасами	
	B.	Конечная морена у подножия горного ледника	394
22.	A.	Модель окрестностей Чикаго, показывающая положение выхода из бывшего озера Чикаго	400
	B.	Карта водопада Йосемити и его более раннего расположения возле Игл-Пик	400
23.	A.	Вид Американского водопада на Ниагаре, показывающий скопление глыб под	414
	B.	Кристал-Лейк, оползневое озеро в Колорадо	414
24.	A.	Устройство для упражнений при составлении топографических карт	468
	B.	То же устройство, используемое для тестирования контуров карты	468
	C.	Используемое устройство моделирования	468

ИЛЛЮСТРАЦИИ В ТЕКСТЕ

РИС.		СТРАНИЦА
1.	Диаграмма, показывающая степень неровностей земной поверхности	11
2.	Карта, показывающая взаимное соотношение площадей суши и моря	11
3.	Четырехгранная форма, к которой стремится земля	12

4.	Усеченный тетраэдр, показывающий взаимную зависимость выступа и углубления на поверхности	13
5.	Приближения к более ранним и нынешним изображениям земли	15
6.	Диаграммы для сравнения сторон вертикального и перевернутого тетраэдра	17
7.	Континенты, включая затопленные участки	18
8.	Диаграмма для обозначения высоты различных участков поверхности литосферы	18
9.	Диаграмма, показывающая, как земные породы превращаются в метеориты	22
10.	Сравнение кристалла с аморфным веществом	24
11.	“Светлый рисунок”, видимый на протравленной поверхности кальцита	25
12.	Измельченные песчинки с развитыми кристаллическими гранями	26
13.	Неусвоенные зерна кварца внутри кристалла граната	28
14.	Вокруг ядра кристалла авгита развились новые минералы	28
15.	Общий слой нового минерала, образующийся в результате реакции там, где более ранние минералы вступают в контакт	28
16.	Слоистая структура осадочной породы	30
17.	Характерные текстуры магматических пород	33
18.	Диаграмма, показывающая порядок отложений, отложенных во время трансгрессии моря	37
19.	Трещины, образовавшиеся при сжатии куска формовочного воска	41
20.	Устройство для иллюстрации складчатости слоев	41
21.	Диаграммы типов складок	42
22.	Диаграммы, иллюстрирующие укорочение земной коры	42
23.	Антиклинальные и синклинальные складки	43
24.	Диаграммы, иллюстрирующие формы складок горных пород	44
25.	Вторичные и третичные изгибы наложен на основные	44
26.	Изогнутый слой, иллюстрирующий растяжение и сжатие с противоположных сторон	45
27.	Восстановлен геологический разрез с усеченными арками	47
28.	Диаграмма, иллюстрирующая природу простирания и опускания	47
29.	Диаграмма, демонстрирующая использование символов T для наблюдения за простиранием и опусканием	48
30.	Диаграмма, показывающая, как определяется толщина пласта	49
31.	Глубокая антиклиналь	50
32.	Глубокая синклиналь	50
33.	Несогласованность на побережье Калифорнии	51
34.	Серия диаграмм, иллюстрирующих эпизоды, связанные с образованием углового несогласия	52
35.	Типы обманчивых или эрозионных несогласованностей	53

36.	Набор основных швов в сланце	55
37.	Схема, показывающая способ замены одного набора соединений другим	56
38.	Схема, показывающая различные комбинации серий соединений	56
39.	Вид на берег в Западной Гренландии	57
40.	Вид в Исландии, на котором показаны интервалы сочленения более одного порядка	57
41.	Разрушенные блоки базальта близ Вудбери, Коннектикут	58
42.	Разлом в ранее нарушенных пластах	59
43.	Диаграмма, показывающая влияние эрозии на разлом	60
44.	Плоскость разлома с сопротивлением	60
45.	Карта, показывающая, как разлом может быть обозначен резкими изменениями простирания и падения	61
46.	Серия параллельных разломов, выявленных смещениями	61
47.	Карта поля, составленная по лабораторному столу	64
48.	Площадная геологическая карта, основанная на полевой карте	64
49.	Часть руин Мессины	67
50.	Руины Дворца мира Карнеги в Картаге, Коста-Рика	68
51.	Опрокинутые боулдеры после землетрясения в Ассаме в 1897 году	69
52.	Столб провалился под землю во время землетрясения в Чарльстоне	69
53.	Карта с указанием населенных пунктов, где были зарегистрированы подземные толчки в море у мыса Мендосино, Калифорния	70
54.	Эффект сейсмической волны в Японии	70
55.	Разлом вертикального смещения	71
56.	Обрыв, образовавшийся в результате землетрясения в Индии	72
57.	Ошибка бокового смещения	72
58.	Забор раздвинулся и сместился в результате бокового смещения по разлому во время землетрясения в Калифорнии	72
59.	Разлом с комбинированными вертикальными и боковыми смещениями	72
60.	Диаграмма, показывающая, как могут быть замаскированы небольшие разломы на поверхности земли	73
61.	Эффект “Кротовой горы” над погребенным сейсмическим разломом	73
62.	Послеледниковые сейсмические разломы	74
63.	Трещины от землетрясения в пустыне Колорадо	74
64.	Железнодорожные пути сломаны или прогнулись во время землетрясения	75
65.	Железнодорожный мост в Японии, поврежденный землетрясением	75
66.	Диаграммы, показывающие сжатие земной коры во время землетрясения	76
67.	Карта индийского разлома Чедранг	76
68.	Смещения вдоль сейсмического разлома на Аляске	77

69.	Резкое изменение направления выброса при землетрясении	77
70.	Карта разломов в долине Оуэнс, Калифорния, образовавшихся во время землетрясения 1872 г.	78
71.	Маркетри скального дна в округе Тонопа, Невада	79
72.	Карта побережья Аляски для отображения изменений уровня воды во время землетрясения	79
73.	Берег Аляски поднялся на семнадцать футов во время землетрясения 1899 г.	80
74.	Частично затопленный лес из береговой впадины на Аляске во время землетрясения	80
75.	Эффект оседания берега в Порт-Ройяле во время землетрясения 1907 г.	80
76.	Диаграммы, иллюстрирующие осушение озер во время землетрясений	83
77.	Диаграмма, иллюстрирующая нарушения потока воды во время землетрясения	84
78.	Конусы грязи выровнялись над трещиной от землетрясения в Сербии	84
79.	Кратер образовался недалеко от Чарльстона, Южная Каролина, во время землетрясения 1886 года	85
80.	Поперечный разрез кратера	85
81.	Карта острова Искья, показывающая концентрацию толчков землетрясения	87
82.	Линия разлома грунта, обозначенная на плане рельефа	87
83.	Сейсмотектонические линии Вест-Индии	88
84.	Устройство для иллюстрации различных последствий землетрясений в твердых породах и сыпучих материалах	88
85.	Разрушенный дом при землетрясении в Сан-Франциско	90
86.	Здание, разрушенное при землетрясении в Калифорнии: крыша и верхний этаж обрушились на верхние стены	91
87.	Пробоина вулканический конус в Новой Зеландии, показывающий изгиб пластов возле жерла	96
88.	Вид на вулкан нью-Камигин, образовавшийся в 1871 году на Филиппинах	97
89.	Карта, на которой показаны пояса действующих вулканов	98
90.	Часть “огненного пояса” Тихого океана	98
91.	Вулканические конусы, образовавшиеся в 1783 году над трещиной Скаптар в Исландии	99
92.	Диаграммы, иллюстрирующие расположение вулканических жерл на линиях трещин	100
93.	Контурная карта, показывающая расположение вулканических жерл на острове Ява	100
94.	Карта, показывающая миграцию вулканов вдоль трещины	101
95.	Базальтовое плато на северо-западе США из-за трещинных извержений лавы	102
96.	Лавовые равнины около реки Снейк в штате Айдахо	102

97.	Характерные профили лавовых вулканов	103
98.	Конус капель	104
99.	Кратер Леффингуэлл, шлаковый конус в долине Оуэнс, Калифорния	104
100.	Карта Гавайев и их лавовых вулканов	106
101.	Участок через Мауна-Лоа и Килауэа	106
102.	Принципиальная схема, иллюстрирующая движущуюся платформу в кратере Килауэа	107
103.	Вид на открытое лавовое озеро Халемаумау	108
104.	Карта, показывающая способ вытекания лавы из Килауэа при извержении вулкана Килауэа. 1840 г.	109
105.	Лава Матавану, стекающая в море во время извержения 1906 г.	110
106.	Поток лавы, вытекающий в море из лавового туннеля	111
107.	Схематическое представление структуры лавовых вулканов в результате стекания застывших лавовых потоков	112
108.	Диаграмма, показывающая образование мезов за счет оттока лавы в долинах и последующей эрозии	112
109.	Поверхность лавы типа Пахоэхо	113
110.	Три последовательных вида, показывающие рост острова Савайи в результате излияния лавы в 1906 году	113
111.	Вид на вулкан Стромболи, показывающий эксцентрическое положение кратера	116
112.	Диаграммы, иллюстрирующие извержения внутри кратера Стромболи	117
113.	Карта вулкана на Эолийских островах	118
114.	Лавовый снаряд “Хлебной корочки” при извержении вулкана в 1888 году	119
115.	“Облако цветной капусты” из пара и пепла, поднимающееся над шлаковым конусом вулкана	120
116.	Извержение вулкана Тааль в 1911 году видно с расстояния шести миль	120
117.	Толстый слой грязи на острове Таал (по фотографии Денистона)	121
118.	Лавовый снаряд грушевидной формы	121
119.	Искусственное образование шлакового конуса	122
120.	Диаграмма, показывающая контраст между лавовым куполом и шлаковым конусом	123
121.	Вулкан Майон на острове Лусон, Филиппинские острова	123
122.	Серия разрушенных шлаковых конусов из-за миграции извержения по трещине	124
123.	Устье внутреннего конуса Везувия, из которого вытекала лава в 1872 году	124
124.	Ряд паразитных конусов, возвышающихся над трещиной, открылся на склонах Этны в 1892 году	125
125.	Вид на Этну, показывающий паразитные конусы на ее склонах	125
126.	Набросайте карту Этны, чтобы показать области, покрытые лавой и туфом соответственно	126
127.	Кратер Панум, показывающий кальдеру	126

128.	Вид на Везувий до извержения 1906 г.	127
129.	Зарисовки вершины Везувийского конуса, чтобы показать изменения в его очертаниях	128
130.	Ночной вид Везувия из Неаполя до извержения 1906 года, показывающий небольшой поток лавы, спускающийся по центральному конусу.	129
131.	Покрытая шлаком лава, вторгающаяся на рельсы Везувийской железной дороги.	130
132.	Карта Везувия, показывающая положение лавовых жерл, открывшихся на его склонах во время извержения 1906 года.	131
133.	Пепловая завеса над Везувием поднимается и обнажает очертания горы	132
134.	Центральный конус Везувия, каким он появился после извержения 1906 г.	132
135.	Затонувшая дорога на Везувии, заполненная отложившимся пеплом	133
136.	Вид на Везувий с юго-запада во время затухающих стадий извержения	133
137.	Основной поток лавы, надвигающийся на Боскотреказу	133
138.	Лавой оторвало сосну и понесло вперед по ее поверхности	133
139.	Фронт лавы опрокидывается и огибает стену на своем пути	134
140.	Одна из разрушенных вилл в Боскотрекасе	134
141.	Три диаграммы, иллюстрирующие последовательность событий в периоды образования конусов и кратеров	135
142.	Хребет Пеле, возвышающийся над дымовой трубой вулкана после извержения 1902 года	136
143.	Последовательные очертания хребта Пеле	137
144.	Рифленая поверхность везувийского конуса из-за грязевых потоков, последовавших за извержением 1906 г.	138
145.	Вид на Каммербюль близ Эгера в Богемии	139
146.	Вулканическая пробка обнажилась в результате естественного вскрытия вулканического конуса в Колорадо	140
147.	Дамба, прорезающая слои туфа в частично вскрытом вулкане на юго-западе Колорадо	140
148.	Карта и общий вид скал Святого Павла, вулканического конуса, расщеченного волнами	141
149.	Расчленение в результате взрыва Маленького Бандаи-сана в 1888 году	141
150.	Наполовину затопленный вулкан Кракатау до и после извержения 1883 года	142
151.	Рубец Баната	142
152.	Диаграмма, иллюстрирующая вероятную причину образования лавовых резервуаров и связь с вулканами на поверхности	143
153.	Эффект ослабления нагрузки на горные породы за счет изгиба соответствующего пласта	144
154.	Профили характера, связанные с вулканами	146

155.	Диаграммы, показывающие влияние разложения на образование сфероидальных валунов	150
156.	Сфероидальное выветривание магматической породы	151
157.	Купольная конструкция из гранитного массива	152
158.	Осыпной склон под обрывом	153
159.	Полосатый грунт от потока грунта	154
160.	Покрытие горизонтальной поверхности из-за потока грунта	154
161.	Корни дерева раздирают скалу в трещине	154
162.	Боулдер, расколотый растущим деревом	155
163.	Скальный покров под почвой и растительным покровом	155
164.	Диаграмма, показывающая различную толщину скального покрова на разных участках поверхности холма	156
165.	Овраги на ранней стадии развития реки	160
166.	Частично расчлененная возвышенность	160
167.	Продольные разрезы верхней части речной долины	161
168.	Карта и участки меандра ручья	163
169.	Дерево, подорванное на внешнем берегу меандра	164
170.	Диаграммы, показывающие последовательное расположение извилин ручья	164
171.	Озеро окс-боу в пойме реки	165
172.	Схематическое изображение серии речных террас	165
173.	Дельта реки Миссисипи с высоты птичьего полета	167
174.	Диаграммы, показывающие природу отложений дельты, как показано на разрезах	168
175.	Ущелье реки Рейн близ Сент-Гоарса	169
176.	Долина с округлыми плечами, характерными для подросткового возраста	170
177.	Вид на зрелую расчлененную возвышенность	170
178.	Линия красоты Хогарта	171
179.	Вид на старую землю Новой Англии с возвышающейся вдали горой Монаднок	171
180.	Сравнение поперечных сечений речных долин разных стадий	172
181.	Изгиб реки Якима с Бобровым хвостом	173
182.	Обновленная речная долина	174
183.	План реки сужается	174
184.	Последовательные диаграммы, иллюстрирующие происхождение “решетчатого дренажа”	175
185.	Нарисуйте карты, показывающие более ранний и нынешний дренаж возле Харперс-Ферри	176
186.	Раздел, иллюстрирующий историю Сникерс-Гэп	177
187.	Профили характера ландшафтов, сформированных речной эрозией во	177

	влажном климате	
188.	Диаграмма, показывающая сезонный диапазон изменения положения уровня грунтовых вод	180
189.	Диаграмма, показывающая влияние непроницаемого слоя на нисходящую воду	181
190.	Схема, иллюстрирующая коррозию известняка вдоль двух рядов вертикальных швов	181
191.	Диаграмма, показывающая связь известняковых каверн с речной системой района	182
192.	План части Пещера Мамонта, Кентукки	183
193.	Деревья и кустарники, растущие на дне известняковых раковин	183
194.	Диаграммы, показывающие способ образования сталактитов и сталагмитов	185
195.	Агломерационные образования в пещерах Люрей	186
196.	Карта долин карстового региона	187
197.	Поперечный разрез долины, образованной прорывом	187
198.	Острый Каррен Ифенплатте	188
199.	Сезонное озеро Циркниц	189
200.	Трещинные источники, расположенные на пересечениях разломов горных пород	190
201.	Принципиальные схемы для иллюстрации различных типов артезианских скважин	191
202.	Поперечный разрез Гейсира, Исландия	192
203.	Устройство для имитации действия гейзера	193
204.	Конус кремнистого агломерата вокруг гейзера Лоун Стар	194
205.	Бывшие береговые линии в Большом бассейне	198
206.	Карта бывшего озера Бонневиль	199
207.	Месторождения буры в Долине Смерти, Калифорния	201
208.	Полые формы выветрившегося гранита в пустыне Центральной Азии	201
209.	Пустотелые тесаные блоки в стене в Вади Геррауи	202
210.	Гладкие гранитные купола, сформированные в результате отслаивания	203
211.	Гранитные блоки разрушаются в результате диффузии	204
212.	“Грибовидная скала” из пустыни в Вайоминге	205
213.	Виндкантен, сформированный пескоструйной обработкой в пустыне	205
214.	“Каменная решетка” пустыни	206
215.	Теневая эрозия в пустыне	206
216.	Лессовые скалы с характерными вертикальными трещинами	207
217.	Каньон в лессе, изношенный движением транспорта и ветром	207
218.	Диаграммы, иллюстрирующие влияние препятствий на задержку наносимого ветром песка	209
219.	Песок, скапливающийся по обе стороны от твердого и непроходимого	210

	препятствия	
220.	Последовательные диаграммы, иллюстрирующие историю города Кунцен на Курише Нерунг	210
221.	Вид на барханы пустыни	211
222.	Диаграммы, показывающие взаимосвязь дюн с запасом песка и направлением ветра	211
223.	Идеальный участок, показывающий поднимающуюся горную стену вокруг пустыни и соседний склон	212
224.	Сухая дельта у подножия хребта на границе пустыни	213
225.	Карта распределения ручьев, впадающих у западного подножия Сьерра-Невады	213
226.	Группа “демуазелей” в “плохих землях”	214
227.	Амфитеатр в верховьях Вади-Бени-Сур	215
228.	Плато и останец на лейцитовых холмах Вайоминга	216
229.	Бассейн с плоским дном, разделяющий дюны	216
230.	Волнистая поверхность соляной корки на центральном прогибе пустыни Лоб	217
231.	Принципиальная схема, показывающая зоны отложения в их порядке от окраины к центру пустыни	217
232.	Курганы на месте погребенного города Ниппур	218
233.	Эксгумированные сооружения в погребенном городе Ниппур	218
234.	Разрез на Высоких равнинах	219
235.	Разрез на линзовидном нити аллювиальных отложений Высоких равнин	220
236.	Распределения предгорий, наложенные на более раннюю серию	220
237.	Характеристики персонажей в ландшафтах засушливых земель	220
238.	Формирование скульптуры под контролем швов	224
239.	Проседание известняка над швами	224
240.	Карта контролируемого совместными усилиями региона Абиско Каньон в Северной Лапландии	225
241.	Карта ущелья реки Замбези ниже водопада Виктория	225
242.	Контролируемая дренажная сеть реки Шепог в Коннектикуте	226
243.	Речная сеть повторяющегося прямоугольного рисунка	226
244.	Горные массивы прямоугольной формы, которые выявляют распределение стыков в виде блоков разного порядка	228
245.	Группы островов Лофотенского архипелага	229
246.	Диаграммы, иллюстрирующие составные профили островов на побережье Норвегии	229
247.	Диаграмма, показывающая характер движений в волнах свободной воды	231
248.	Диаграмма, иллюстрирующая превращение свободной волны в бурун	232
249.	Зубчатый скальный утес и упавшие блоки	233
250.	Рассеченная волнами пропасть, контролируемая суставами	233

251.	Большая арка на одном из островов Апостолов в озере Верхнее	234
252.	Штабель у берега озера Верхнее	234
253.	Мраморные острова, штабеля в озере южных Анд	235
254.	Квадратные штабеля, показывающие положение стыковых плоскостей, на которых они были вырезаны	235
255.	Идеальный участок, выбитый волнами на крутом скалистом берегу	236
256.	Карта, показывающая очертания острова Гельголанд на разных этапах его истории	236
257.	Идеальный участок, вырезанный волнами на крутом берегу из сыпучих материалов	237
258.	Покрытие из наклонных скал и валунов в Скитуате, Массачусетс	237
259.	Карта, показывающая характер берегового течения и формы, которые оно формирует	238
260.	Пляж в форме полумесяца с подветренной стороны мыса	239
261.	Поперечный разрез пляжной гальки	239
262.	Штормовой пляж на северо-восточном берегу Грин-Бэй	240
263.	Галечная коса на острове О-Трейн, озеро Верхнее	240
264.	Барьерный пляж перед лагуной	241
265.	Поперечный разрез барьерного пляжа с лагуной позади него	242
266.	Поперечный разрез ряда барьеров и внешней перекладины	242
267.	Серия барьеров и внешняя перекладина на озере Мендота в Мэдисоне, Висконсин	242
268.	Серия барьеров на западной оконечности озера Верхнее	243
269.	Профили характера, возникающие в результате воздействия волн на берега	243
270.	Ровная береговая линия возвышенного берега	246
271.	Неровная береговая линия, образовавшаяся в результате оседания	246
272.	Часть атлантической прибрежной равнины у основания олдленда	246
273.	Идеальная форма куэст и промежуточных низменностей, вырезанных на прибрежной равнине	247
274.	Возвышенная морская пещера на побережье Калифорнии	248
275.	Утес с двумя зубцами возле мыса Тиро, Целебес	248
276.	Возвышенные скалы на побережье Калифорнии	249
277.	Приподнятый галечный пляж напротив входа в бывшую бухту на побережье Калифорнии	250
278.	Возвышенные пляжные террасы возле Эли, Файф, Шотландия	250
279.	Возвышенные морские скалы и террасы на побережье Аляски	250
280.	Диаграммы, показывающие, как чрезмерное опускание морского дна приведет к смещению берега к суше	251
281.	Затопленное устье реки или эстуарий на прибрежной равнине	251
282.	Архипелаг крутых скалистых островков из-за затопления	252

283.	Затопленный Гудзоновский канал, который продолжает реку Гудзон через континентальный шельф	252
284.	Отложения морской глины вблизи устьев рек Мэн, которые хранят свидетельства более раннего опускания и более позднего подъема	253
285.	Вид на три стоячие колонны Храма Юпитера Сераписа в Поццуоли	254
286.	Три последовательных снимка, показывающие недавние колебания уровня на северном берегу Неаполитанского залива	255
287.	Рельефная карта острова Сан-Клементе, Калифорния	256
288.	Рельефная карта острова Санта-Каталина, Калифорния	257
289.	Поперечный разрез Голубого грота на острове Капри	258
290.	Профили поднятия и опускания берегов	259
291.	Карта, показывающая распределение существующих ледников и двух важных полюсов ветров на земле	263
292.	Ледник Аляски, простирающийся у подножия хребта, который его питает	264
293.	Поверхность ледника, верхние слои которого распространяются, но с небольшим ограничением, благодаря подпорным стенкам	265
294.	Разрез горного ледника	267
295.	Профиль крупнейшей из исландских ледяных шапок	267
296.	Идеальный участок континентального ледника	267
297.	Вид на Эйрикс-Екюдль, ледяную шапку Исландии	268
298.	Зоны нижних слоев атмосферы, выявленные недавними исследованиями воздушных змеев и аэростатов	269
299.	Карта Гренландии, показывающая площадь внутреннего льда и маршруты исследователей	271
300.	Профиль в естественных пропорциях южной оконечности континентального ледника Гренландии	272
301.	Карта языка ледника с углублением над	273
302.	Край внутреннего льда Гренландии, показывающий нунатаки, уменьшающиеся в размерах по направлению к внутренней части	274
303.	Ров, окружающий нунатак на Земле Виктория	274
304.	Ледниковое покрытие пермо-каменноугольного периода в Южной Африке	276
305.	Диаграммы, иллюстрирующие способ образования скальных насыпей	277
306.	Маргинальная морена, формирующаяся в настоящее время на краю континентального ледника Гренландии	279
307.	Небольшое озеро между фронтом льда и мореной, которую оно недавно сформировало	279
308.	Вид осушенного дна озера между фронтом льда и заброшенной мореной	280
309.	Диаграммы, показывающие способ образования и структуру пойменной равнины и рва	280
310.	Карта ледяных массивов Земли Виктория, Антарктида	282
311.	Участки внутреннего льда и шельфового льда Антарктиды	283

312.	Диаграмма, показывающая природу неподвижного ледникового антициклона над континентальными ледниками	284
313.	Снежные дельты по краям языка ледника в Гренландии	285
314.	Вид на морской лед Арктического региона	286
315.	Карта северных полярных регионов с указанием площади дрейфующих льдов и следов "Жаннет" и "Фрама"	288
316.	Шельфовый лед покрывает Сушу окружающим паковым льдом	290
317.	Приливный утес на языке ледника, из которого рождаются айсберги	290
318.	Гренландский айсберг после долгого путешествия в теплых широтах	291
319.	Схема, показывающая один из способов, которым северные айсберги рождаются из языка ледника	291
320.	Северный айсберг, окруженный морским льдом	292
321.	Табличный антарктический айсберг, отделяющийся от шельфового льда	293
322.	Карта земного шара, показывающая области, покрытые континентальными ледниками во время "ледникового периода"	297
323.	Оледеневшая гранитная чаша, выветрившаяся из морены пермо-каменноугольного периода, Южная Австралия	298
324.	Карта, показывающая оледеневшие и незоледневшие регионы Северной Америки	298
325.	Карта оледеневших и незоледневших районов Северной Америки. незасушливые районы Северной Европы	299
326.	Нестабильный эрозионный остаток, характерный для "зоны без дрейфа"	300
327.	Диаграмма, показывающая, каким образом континентальный ледник стирает существующие долины	301
328.	Район озер и болот в северном Висконсине	302
329.	Поперечный разрез в естественных пропорциях последнего североамериканского континентального ледника	303
330.	Диаграмма, показывающая более ранние и более поздние записи о ледниках на одной и той же известняковой поверхности	304
331.	Карта, показывающая обнажения специфических типов горных пород в районе Великих озер и некоторых местностей, где была собрана "дрейфующая медь"	305
332.	Карта "поезда боулдера" из Айрон-Хилл, Род-Айленд	306
333.	Формы и приблизительные естественные размеры некоторых алмазов из района Великих озер	307
334.	Ледниковая карта части района Великих озер	308
335.	Разрез крупным планом до	310
336.	Схема участков Мичигана, Огайо и Индианы с указанием распределения морен	312
337.	Карта окрестностей озера Дьявола, штат Висконсин, частично покрытых континентальным ледником	313
338 .	Морена с размывной полосой впереди	313

339.	Яма между размывной равниной и мореной	314
340.	Вид на эскер на юге штата Мэн	315
341.	Контурная карта морен и эскеров в Финляндии	315
342.	Эскизные карты, показывающие взаимоотношения друмлинов и эскеров	316
343.	Вид на друмлины, показывающий отверстие в каске	317
344.	Контурная карта передней части доли Грин-Бэй, показывающая взаимосвязь друмлинов, морен, пойменных равнин и донных морен	317
345.	Профили характера, относящиеся к континентальному леднику	318
346.	Вид поймы древней реки Иллинойс близ Пеории	320
347.	Долины с широкими террасами, отмечающие наводнения, которые когда-то исходили от континентального ледника Северной Америки	321
348.	Пограничный дренаж отступающего фронта льда к югу от озера Эри	321
349.	“Параллельные дороги” Глен-Роя в Шотландском нагорье	322
350.	Карта Глен-Роя и соседних долин Шотландского нагорья	322
351.	Три последовательные диаграммы, описывающие позднеледниковую историю шотландских долин	324
352.	Время сбора урожая на плодородном дне ледникового озера Агассис	325
353.	Карта озера Агассис	325
354.	Карта, показывающая некоторые пляжи озера Агассис и его исток	326
355.	Сужения реки Уоррен там, где она проходила между гранитными и гнейсовыми выступами	327
356.	Карта долины реки Уоррен близ Миннеаполиса	327
357.	Часть пляжа Херман на берегу бывшего озера Агассис	328
358.	Карта континентального ледника Агассис. Северная Америка, когда она покрывала весь бассейн Святого Лаврентия	329
359.	Контурная карта раннего озера Моми	330
360.	Карта, на которой показаны первые стадии образования покрытых льдом озер в бассейне Святого Лаврентия	330
361.	Контурная карта более позднего озера Моми и его выхода	332
362.	Общая карта озер Уиттлси и Сагино	333
363.	Карта ледникового озера Уоррен	333
364.	Карта ледникового озера Алгонкин	334
365.	Схема Великих озер Ниписсинг	335
366.	Вероятный доледниковый сток в районе верхнего Огайо	337
367.	Диаграммы, иллюстрирующие эпизоды недавней истории реки Коннектикут	338
368.	Скалистый мыс Бойер-Блафф на озере Мичиган	341
369.	Вид на остров Макино со стороны улицы Св. Игнатий	342
370.	“Сахарная голова”, нагромождение озер Алгонкин на острове Макино	342
371.	Чередующиеся пляжные гряды на острове Макино	343
372.	Зубчатый нагромождение Великих озер Ниписсинг на острове Сент.	343

Игнас

373.	Серия диаграмм, иллюстрирующих эволюцию представлений о поднятии озерного региона со времен ледникового периода	344
374.	Карта района Великих озер, на которой показаны изобазы и шарнирные линии подъема	345
375.	Серия диаграмм, указывающих на характер восстановления земной коры за счет поднятия при разгрузке ледяной мантии	346
376.	Часть Внутреннего залива Сандаски для сравнения береговой линии Великих озер. 1820 год по сравнению с нынешним	350
377.	Идеальный поперечный разрез ущелья Ниагара, чтобы показать краевую террасу	353
378.	Вид на русло реки Ниагара над водопадом, откуда была слита вода	353
379.	Вид на водопад Святого Антония в 1851 году	354
380.	Идеальный разрез для демонстрации характера процесса бурения под катарактой	355
381.	План и разрез ущелья, показывающий, насколько глубина пропорциональна ширине	355
382.	Сравнительные виды Канадского водопада в 1827 и 1895 годах	356
383.	Карта, показывающая спад Канадского водопада	357
384.	Сравнение настоящего водопада с будущим	358
385.	Запечатленный Канадский водопад в Уинтергрин Флэтс с высоты птичьего полета	358
386.	Карта бассейна Whirlpool	360
387.	Карта куэст, сыгравших столь важную роль в установлении границ озерных бассейнов	361
388.	Вид куэст с высоты птичьего полета на юг от озер Онтарио и Эри	362
389.	Набросайте карту большей части Ниагарского ущелья, чтобы проиллюстрировать историю Ниагары	363
390.	Снежный сугроб, выдалбливающий свое ложе в результате нивации	368
391.	Амфитеатр, образовавшийся на месте заноса в северной Лапландии	369
392.	Краевая трещина на самом высоком краю ледника	370
393.	Ниши и цирки в горах Бигхорн в Вайоминге	371
394.	Второстепенные цирки в амфитеатре на западном склоне Ваннехорна	371
395.	Эффект “разрезания печени” ледниковой скульптуры в горах Уинта в Вайоминге	372
396.	Диаграмма, показывающая причину гиперболической кривой cols	372
397.	Седловина у Селкирков	373
398.	Диаграммы, иллюстрирующие формирование гребневых гребней, седловин и рогов	374
399.	The U-образная долина Керн в Сьерра-Неваде в Калифорнии	375
400.	Покрытая ледником стена долины, показывающая резкую линию, отделяющую истертую поверхность скалы от подорванной	375

401.	Вид на долину Шамони со склонов <i>ледника Боссон</i>	376
402.	Карта местности вблизи континентального водораздела в Колорадо	377
403.	Ущелье реки Альбула в Энгадине прорезает скальный выступ	378
404.	Идеалистический набросок, показывающий покрытые льдом и незолотые боковые долины	378
405.	Профили персонажей, вылепленные горными ледниками	379
406.	Плоский купол в форме края норвежской ледяной шапки	379
407.	Два вида, иллюстрирующих последовательные этапы формирования tinds	380
408.	Принципиальная схема, демонстрирующая взаимосвязь различных типов горных ледников	383
409.	Карта ледника Маласпина на Аляске	384
410.	Карта ледника Балторо в Гималаях	385
411.	Вид ледника Триест, висячего ледника	385
412.	Карта ледника Гарриман-фьорд на Аляске	386
413.	Карта ледника Ротмоос, расходящегося ледника Швейцарии	386
414.	Контурная карта ледника Асулкан в Селкирксе, подковообразный ледник	387
415.	Контурная карта ледника Иллесиллевет в Селкирксе, ледник унаследованного бассейна	388
416.	Диаграмма, иллюстрирующая поверхностный сток ледников	390
417.	Диаграмма, показывающая трансформацию ледников расселины в сераках	391
418.	Вид на <i>ледник Боссон</i> , показывающий положение несчастных случаев для альпинистов	392
419.	Линии течения на поверхности <i>ледника</i> Хинтеррайсфернер в Альпах	393
420.	Боковые и медиальные морены <i>Мер -де-Глясе</i> и ее притоков	393
421.	Идеальное поперечное сечение горный ледник	394
422.	Схемы для иллюстрации плавления воздействие на ледник, лед из обломков пород разных размеров	394
423.	Небольшой ледник стол на Большой Алечский ледник	395
424.	Влияния перепадов температуры плавления и последующего замораживания на поверхности ледника	396
425.	Грязь конус с корпусом частично удалены	396
426.	Схематическое представление, чтобы показать порядок формирования ледника карнизы	397
427.	Superglacial трансляция на Большой Алечский ледник	398
428.	Идеальная форма поверхности осталось на месте Пьемонт ледник фартук	399
429.	Карта сайта раньше Пьемонт ледник Верхнего Рейна	399
430.	Схема и карта, чтобы выявить характеристики Ньюленд озер	402
431.	Вид Уорнер озер, Орегон	402

432.	Схема для демонстрации характеристик бассейна-ряд озер	403
433.	Принципиальная схема Рифт-Валли озера и долину Иордана	403
434.	Карта разлом-долина озер восточной части Центральной Африки	404
435.	Землетрясение озера образовались в 1811 году в пойме нижней Миссисипи	404
436.	Вид на кратерное озеро в Коста-Рике	405
437.	Диаграммы, иллюстрирующие характеристики кратерных озер	406
438.	Вид загвоздка озера, в зеленом районе озера в Калифорнии	406
439.	Диаграммы, иллюстрирующие характеристики моренных озер	407
440.	На схеме показано порядке формирования карьерных озер	408
441.	Схемы для иллюстрации характеристик карьерных озер	408
442.	На схеме показано порядке формирования блеск озер	409
443.	Карта из серии блеск озер на границе Швеции и Норвегии	409
444.	Карта со льда водохранилища недалеко от норвежской границы Швеции	410
445.	Волна Cut терраса бывшего ледяной дамбы озера в Швеции	410
446.	Вид Márvjelen озеро с вершины Эггисхорн	411
447.	Схемы, иллюстрирующие механизм и героев рок-бассейна озера	412
448.	Осужденного озера, долины, морены озера Калифорнии	413
449.	Озерные впадины, образовавшиеся в результате последовательных осыпаний с отвесных стен покрытой ледником горной долины	414
450.	Озеро Гарда, пограничное озеро на месте фартука в Пьемонте	414
451.	Диаграммы, показывающие характеристики озер окс-боу	415
452.	Схематический разрез, иллюстрирующий образование блюдцеобразных бассейнов между дамбами ручьев на пойме	415
453.	Озера-блюдца на дне бывшей реки Уоррен	416
454.	Озера-дамбы развивались последовательно в пределах меандров на дельтовой равнине	417
455.	Озера-плоты вдоль берегов Ред-Ривер в Арканзасе и Луизиане	418
456.	Карта швейцарских озер Тун и Бриенц	419
457.	Озера-дельты образовались в устье Миссисипи	419
458.	Озера-дельты на окраине дельты Нила	420
459.	Диаграммы, иллюстрирующие характеристики барьерных озер	420
460.	Дюнные озера на побережье Франции	421
461.	Сливные озера во Флориде со схематической схемой, иллюстрирующей способ их образования	421
462.	Карта Арве и Верхней Роны	426
463.	Вид на Арве и Рону на их стыке	427
464.	Деревня в Швейцарии, построенная на склоне в верховье озера Поскьяво	428
465.	Вид на плавающее болото и окружающие зоны растительности в небольшом ледниковом озере	429

466.	Диаграмма, показывающая, как небольшие озера превращаются в торфяные болота	430
467.	Карта, показывающая аномальное положение дельты озера Сент-Клер.	431
468.	Стена котлована на берегу небольшого озера.	432
469.	Диаграммы, показывающие влияние толчков льда на образование ледяных валов на берегах озер.	433
470.	Различные формы ледяных валов.	433
471.	Карта озера Мендота, показывающая положение хребта, который образуется из льда. расширение и ледяные валы на берегах	434
472.	Великая множественная горная дуга Севестана, Британская Индия	436
473.	Диаграммы, иллюстрирующие теории происхождения горных дуг	437
474.	Гирлянды горных дуг на границах Тихого океана	438
475.	Прерывистые Армориканские горы, общие для Западной Европы и востока Северной Америки	438
476.	Зона разнообразного смещения на западе Соединенных Штатов	439
477.	Разрез восточноафриканской блоковой горы	439
478.	Наклонные блоки земной коры в долине Квинтоуип	440
479.	Вид лакколита горы Каррисо	441
480.	Карта лакколитовых гор	441
481.	Идеальные разрезы лакколита и бисмалита	442
482.	Остроконечный фасад в значительной степени создан на фоне пустынных пейзажей	443
483.	Вид с воздушного шара на Мифен в Швейцарии	444
484.	Зубчатый тип эрозионной горы	445
485.	Симметрично сформированные низкие острова, повторяющиеся рядами на озере Темагами, Онтарио	445
486.	Формы кристаллов ряда минералов	454
487.	Формы кристаллов ряда минералов	457
488.	Контурная карта студента	469
489.	Модели для представления обнажений горных пород	472
490.	Набор лабораторных столов с задачей геологического картирования, которая решена на фиг. 47 и 48	472
491.	Три полевые карты, которые будут использованы в качестве рекомендаций по организации лабораторного стола для решения задач по составлению площадных геологических карт	473
492.	Набросок карты Западной Шотландии и Внутренних Гебридских островов, чтобы показать расположение некоторых точек, представляющих особый геологический интерес	481
493.	Контурная карта геологического паломничества по европейскому континенту	483

ПОЯСНИТЕЛЬНЫЙ СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ ДЛЯ НАЗВАНИЙ ЖУРНАЛОВ В СПРАВОЧНИКАХ ДЛЯ ЧТЕНИЯ

Ам. Геол.: американский геолог.

Журнал американской науки: American journal of Science, Нью-Хейвен.

Ann. de Géogr.: Annales de Géographie, Paris.

Ann. Rept. Геология. и география. Обзор: Ежегодный отчет Геолого-географической службы территорий (Хейден), Вашингтон.

Энн. Представитель. Геол. и нац. История. Обзор. Minn.: Ежегодный отчет Службы геологии и естественной истории Миннесоты, Миннеаполис.

Энн. Представитель. Mich. Геология. Обзор.: Годовой отчет Геологической службы Мичигана, Лансинг.

Ann. Rept. U. S. Geol. Обзор.: Ежегодный отчет Геологической службы США, Вашингтон.

Чушьсобачья. Am. Geogr. Соц.: Вестник Американского географического общества, Нью-Йорк.

Бык. Earthq. Inv. Com. Япония: Бюллетень Комитета по расследованию землетрясений Японии, Токио.

Чушьсобачья. Geogr. Сок. Филадельфия: Вестник Географического общества Филадельфии.

Бык. Geol. Soc. Am.: Бюллетень Геологического общества Америки.

Бык. Муз. Сост. Зоол.: Вестник Музея сравнительной зоологии, Гарвардский колледж, Кембридж.

Бюлл. Музей штата Нью-Йорк: Вестник Государственного музея Нью-Йорка, Олбани.

Бык. Соч. Belge d'Astronomie: Bulletin de la Société Belge d'Astronomie, Brussels.

Бык. Соч. Belge Géol.: Bulletin de la Société Belge de Géologie, Brussels.

Bull. Soc. Sc. Нац. Neuchâtel: Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel.

Бык. Университет. Калифорния. Департамент. Геол.: Вестник Калифорнийского университета, геологический факультет, Беркли.

Бюллетень. Геология США. Обзор.: Бюллетень Геологической службы США, Вашингтон.

Бык. Ум. Геол. и Нац. История. Обзор.: Бюллетень Службы геологии и естественной истории Висконсина, Мэдисон.

К. Р. Конг. Géol. Intern.: Comptes Rendus de la Congrès Géologique Internationale.

Департамент горных работ, Геология. Обзор. Филиал, Канада: Департамент горных работ, отделение геологической службы, Канада.

Geogr. Abh.: Geographische Abhandlungen.

Geogr. Журнал "Географический журнал", Лондон.

Геология. Фолио Геологической службы США. Обзор.: Геологический фолио Геологической службы США.

Geol. Mag.: Геологический журнал, Лондон (разделы, обозначенные десятилетиями).

Jour. Am. Geogr. Соц.: Журнал Американского географического общества, Нью-Йорк.

Jour. Колл. наук. Имп. Унив. Токио: Журнал научного колледжа Императорского университета, Токио, Япония.

Jour. Геол.: Геологический журнал, Чикаго.

Журнал школьной географии.

Путеводитель по Ливре Конг. Géol. Intern.: Livret Guide Congrès Géologique Internationale.

Мем. Геол. Обзор. Индия: Воспоминания Геологической службы Индии, Калькутта.

Перчатка. Geogr. Гэс. Hamb.: Mitteilungen der Geographische Gesellschaft, Hamburg.

Понедельник. Геология США. Обзор.: Монография Геологической службы США, Вашингтон.

Nat. Географический журнал: Журнал National Geographic, Вашингтон.

Nat. Geogr. Пн.: Монографии National Geographic, Американская книжная компания, Нью-Йорк.

Naturw. Wochenschr.: Naturwissenschaftliche Wochenschrift.

Перчатка для домашних животных.: Petermanns Mittheilungen aus Justus Perthes' Geographischer Anstalt, Gotha.

Pet. Mitt., Ergänzungsh. или Эпр.: Petermanns Mittheilungen, Гота (Рабочая тетрадь или Дополнительная бумага).

Филология. Журнал. Наука.: Филиппинский научный журнал, Манила.

Филология. Пер.: Философские труды Королевского общества, Лондон.

Proc. Am. Acad. Искусство и наука.: Труды Американской академии искусств и наук.

Профессор. доцент. Adv. Sci.: Труды Американской ассоциации содействия развитию науки.

Proc. Am. Phil. Soc.: Труды Американского философского общества, Филадельфия.

Текст. Bost. Soc. Nat. История.: Труды Бостонского общества естественной истории, Бостон.

Proc. Ind. Acad. Sci.: Труды Академии наук штата Индиана.

Proc. Linn. Soc. Новый Южный Уэльс: Труды Линнеевского общества Нового Южного Уэльса.

Материалы. Академия наук штата Огайо: Труды Академии наук штата Огайо.

Профессор Пап. Геол. США. Обзор.: Профессиональный документ Геологической службы США, Вашингтон.

Публикация. Журнал. Inst.: Публикация Вашингтонского института Карнеги.

Паб. Mich. Геол. и биол. Обзор.: Публикация Мичиганской геологической и биологической службы, Лансинг.

Кварту. Jour. Геол. соц. Лондон.: Ежеквартальный журнал Геологического общества, Лондон.

Представитель. Brit. Assoc. Adv. Sci.: Отчет Британской ассоциации содействия развитию науки.

Представитель. Геология. Обзор. Mich.: Отчет геологической службы Мичигана, Лансинг.

Представитель. Mich. Акад. наук: Отчет Мичиганской академии наук, Лансинг.

Rept. Nat. Conservative. Com.: Отчет Национальной комиссии по охране природы, Вашингтон.

Представитель. Смитсон. Inst.: Отчет Смитсоновского института, Вашингтон.

Научный бюллетень. Бруклинский институт. Искусство и наука.: Научный вестник Бруклинского института искусств и наук.

Шотландец. Географический журнал: Scottish Geographic Magazine, Эдинбург.

Смит. Продолжение: Смитсоновский институт знаний, Вашингтон.

Технологии. Кварт.: Технологический ежеквартал Массачусетского технологического института, Бостон.

Пер. Утра. Нач. мин. англ.: Труды Американского института горных инженеров, Нью-Йорк.

Пер. Рой. Дублинское общество.: Труды Королевского Дублинского общества.

Пер. Seis. Soc. Япония: Труды Японского сейсмологического общества, Токио.

Пер. Wis. Acad. Sci.: Труды Висконсинской академии наук, искусств и литературы, Мэдисон.

U. S. Geogr. и Геология. Обзор. Регион Скалистых гор: Географическая и геологическая служба США в районе Скалистых гор (Пауэлл), Вашингтон.

Zeit. d. Gesell. f. Erdk. z. Berlin: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Zeit. f. Gletscherk: Zeitschrift für Gletscherkunde, Berlin.

ГЛАВА I

СБОРНИК ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

Истоки истории.—Наука, которая занимается главами истории Земли, предшествующими самым ранним человеческим трудам, - это геология. Страницы летописи - это слои породы, которые составляют внешнюю оболочку нашего мира. Здесь, как и в старых рукописях, иногда отсутствуют страницы, а на других надписи в значительной степени стерты, так что становятся нечеткими или даже неразборчивыми. Разумная интерпретация этой летописи требует знания материалов и структуры земли, а также правильного представления о силах, которые вызвали изменения и, таким образом, развили историю. Этими действующими факторами являются физические и химические процессы, и поэтому науки о физике и химии являются фундаментальными в любом расширенном изучении геологии. Мало того, что геология, так сказать, основана на химии и физике, но и ее область пересекается со многими другими важными науками. Самая ранняя история Земли связана с формой, размером и физическим состоянием малой планеты в солнечной системе. Таким образом, самая ранняя часть истории относится к астрономии, и невозможно провести четкую границу, отделяющую эту главу от более поздних, которые более четко относятся к области геологии.

Разделы геологии.—Термины “космическая геология” и “астрономическая геология” иногда использовались для обозначения астрономии планеты Земля. Более поздняя история земли развивает, среди прочего, разнообразные формы животной и растительной жизни, которые имели определенный порядок появления. Их изучение в значительной степени относится к зоологии и ботанике, хотя здесь рассматривается с принципиально иной точки зрения. Этот раздел нашей науки называется палеонтологической геологией или палеонтологией, которая в обиходе включает как растительный, так и животный мир, или то, что иногда называют палеоботаникой. Чтобы установить порядок событий в геологической истории, необходимы эти биологические исследования, поскольку многие страницы летописи были перемещены не на свои места в результате превратностей земной истории, а остатки жизни в слоях горных пород обеспечивают нумерацию страниц, исходя из которой можно правильно переставить неуместные страницы. Как составленная в последовательную историю земли с момента появления на ней жизни, мы имеем подразделение исторической геологии; хотя оно лишь немногим отличается от стратиграфической геологии, акцент в первом случае делается на саму историю, а во втором — на расположение событий - нумерацию страниц в летописи.

Насколько нам известно, материалы, из которых состоит земля, представляют собой минералы, сгруппированные в различные характерные агрегаты, известные как горные породы. Здесь наука основана на минералогии, а также химии, и изучение горных пород земли называется петрографической геологией или петрографией. Различные горные породы, входящие в состав внешней оболочки земли — единственной части, известной нам из непосредственных наблюдений, — встроены в нее в виде архитектуры, которая при тщательном изучении раскрывает важные события в истории земли. Разделом науки, который занимается архитектурой земли, является геотектоника, или структурная геология.

Изучение особенностей земли и их значения.Особенности на поверхности земли имеют все свое глубокое значение, и при правильном понимании поток света проливается не только на нынешние условия, но и на многие главы более ранней истории земли. Здесь связь нашего исследования с топографией и географией очень тесна, так что границы между ними слабо определены. Термины “физиографическая геология”, “физиография” и “геоморфология” связаны с конфигурацией поверхности Земли — ее физиономией - и с

генезисом отдельных особенностей ее поверхности. Именно эта генетическая сторона физиографии отделяет ее от топографии и придает ей всепоглощающий интерес, хотя и приводит к тому, что она в значительной степени перекрывает раздел динамической геологии или изучения геологических процессов. Фактически, разница между динамической геологией и физиологией в значительной степени заключается в акценте, при этом упор делается на процессы в первой и на результирующие особенности во второй.

В динамическую геологию включены важные подразделения, такие как сейсмическая геология, или изучение землетрясений, и вулканология, или изучение вулканов. Другая крупная тема, ледниковая геология, относится к широким границам, общим как для динамической геологии, так и для физиографии. Относительно новым подразделением геологической науки является ориентационная геология, которая занимается изучением особенностей земной поверхности и тесно связана как с физиологией, так и с динамической и структурной геологией.

Краткое изложение в виде таблицы.—В несколько ином порядке, чем приведенный выше порядок упоминания, подразделения геологии следующие:—

Подразделения геологии

Петрографическая геология.

Материалы земли.

Геотектоническая геология.

Архитектура внешней оболочки Земли.

Динамическая геология.

Земные процессы.

Сейсмическая геология—землетрясения.

Вулканология—вулканы. Ледниковая геология—ледники и т.д.

Физико-географическая геология.

Физиогномика Земли и ее происхождение.

Ориентационная геология.

Расположение и тенденция земных особенностей.

Так или иначе, все вышеупомянутые разделы геологии так или иначе связаны с генезисом физиогномики земли, и поэтому им необходимо уделить внимание в работе, посвященной изучению значения особенностей земли. Однако составленная летопись горных пород представляет собой нечто совершенно обособленное и не имеющее отношения к настоящей работе. Как уже указывалось, ее подразделениями являются:—

Астрономическая геология.

Планетарная история Земли.

Статистическая геология.

Нумерация страниц записей Земли.

Историческая геология.

Составленный отчет и его интерпретация.

Палеонтологическая геология.

Эволюция жизни на земле.

При каждой попытке систематизировать данные возникают трудности, обычно из-за того, что ни одно соображение не может быть использовано повсеместно в качестве основы классификации. Такие термины, как “экономическая геология” и “горная геология”, имеют либо педагогическое, либо коммерческое значение, и поэтому вряд ли вписываются в систему, которую мы обрисовали.

Геологические процессы не универсальны.— Неизбежно, что геология регионов, которые легко доступны для изучения, должна была привлечь большее внимание; но не следует забывать, что геология связана с историей всего мира, и эта перспектива будет утрачена и будут сделаны ошибочные выводы, если местные условия будут слишком часто находиться перед глазами. Чтобы проиллюстрировать это на одном примере, лучше всего изученными регионами земного шара являются те, в которых достаточно обильные осадки в виде дождя создали на земле удобные условия для жизни и, таким образом, сделали возможным развитие высокоразвитой цивилизации. По степени и в некоторой степени также по характеру геологические процессы заметно различаются в пределах этих широко раскинувшихся регионов, которые из-за засушливости или холодности были плохо приспособлены для обитания человека. И все же в историческом развитии земли те геологические процессы, которые происходят в пустынных или полярных регионах, не менее важны, поскольку наблюдаются реже и с меньшей тщательностью.

Изменение, а не стабильность - порядок природы.— Человек всегда склонен подчеркивать важность очевидных фактов в ущерб тем, которые проявляются менее ясно, хотя и не менее действенны. Древнее представление о *terra firma*, безопасной и твердой почве, возникло из-за ее контраста с гораздо более подвижными водоемами; но эта иллюзия быстро развеивается внезапным сотрясением почвы. Опыт ясно показал, что как на поверхности Земли, так и под ней происходят химические и физические изменения, которые практически не прерываются. “Холмы, покрытые ребрами скал и древние, как солнце” - поэтическая метафора, ибо Гималаи, высочайшие горы на земном шаре, были, выражаясь геологическими терминами, подняты из моря лишь вчера. Даже сегодня они поднимают головы только для того, чтобы быть безжалостно сброшенными вниз под действием атмосферы, льда и проточной воды. Земля претерпевает изменения даже в большей степени, чем обычно предполагалось. Часто в течение нескольких секунд, сопровождаемых сильным землетрясением, поднимаются многие квадратные мили территории, в то время как соседние районы могут быть относительно подавлены. Таким образом, изменение, а не стабильность - это порядок природы.

Наблюдательная геология против спекулятивной философии.— По-видимому, существует более или менее распространенное представление о том, что взгляды, которых придерживаются ученые одного поколения, отвергаются таковыми следующего; и это может привести к убеждению, что на самом деле известно мало и о многом в значительной степени догадываются. Определенные основания для такого скептицизма, несомненно, есть, хотя во многом это может быть объяснено общей неспособностью ученых, а также других лиц четко отличать то, что по сути является спекулятивным, от того, что в целом основано на наблюдаемых фактах. Даже при расширенном наблюдении не исключается возможность объяснения фактов более чем одним способом; но, тем не менее, линия, отделяющая всю эту область наблюдения от того, что по существу является спекулятивной философией, является широкой. Для иллюстрации: механика действия, происходящего внутри вулканических кратеров, в настоящее время достаточно хорошо изучена в результате многочисленных и продолжительных наблюдений, и маловероятно, что будущие поколения геологов будут дискредитировать основные выводы, которые были сделаны. Причина подъема лавы на поверхность земли, с другой стороны, продемонстрирована гораздо менее ясно, и мнения, которых придерживаются, выражают скорее различные мнения, чем какие-либо четкие выводы из наблюдений. Опять же, и аналогичным образом, физическая история великих континентальных ледников так называемого “ледникового периода” известна гораздо более

тщательно, чем история любого существующего ледника того же типа; но причина климатических изменений, вызвавших оледенение, все еще в значительной степени является предметом для предположений.

В настоящей работе будет предпринята попытка, насколько это возможно, дать представление о геологических процессах и особенностях земли, которые являются их результатом, с намеками только на те конечные причины, которые скрыты на заднем плане.

Научный подход и темперамент. Изучающий науку должен поставить перед собой цель не только четко отделять в своих исследованиях ближайшие причины наблюдаемых явлений от конечных, но и всегда держать свой разум открытым для достижения индивидуальных выводов. Никакие доктрины не должны приниматься в конечном итоге просто на веру, а скорее подчиняться его собственным рассуждениям. Это не следует истолковывать как означающее, что в вопросах, о которых он знает мало или вообще ничего, он не должен проявлять уважения к признанным авторитетам; но его принятие любой теории должно подлежать пересмотру, как только его собственный кругозор будет достаточно расширен. Ложные теории вряд ли могли бы просуществовать так долго в прошлом, если бы авторитетам не уделялось слишком большого уважения, а индивидуальные процессы рассуждения слишком долго находились в подчинении.

Ценность гипотезы.— Поскольку всех фактов, необходимых для полной интерпретации наблюдаемых явлений, нет под рукой, это не должно становиться препятствием на пути предварительных объяснений. Если наука стремится к прогрессу, использование гипотез абсолютно необходимо; но принятую конкретную гипотезу следует рассматривать как временную и указывающую направление наблюдения или эксперимента, которому следует следовать при ее проверке. При таком непредвзятом рассмотрении неадекватные гипотезы в конечном итоге оказываются несостоятельными, тогда как правильные объяснения фактов с помощью того же процесса подтверждаются. Большинство научных гипотез верны лишь частично, поскольку сейчас мы “видим сквозь мутное стекло”; но даже в этом случае, при надлежащей проверке, ложные элементы в гипотезе устраняются один за другим по мере подтверждения и расширения воплощенной истины. Таким образом, “рабочая гипотеза” переходит в теорию и становится неотъемлемой частью науки.

Список литературы для чтения к главе I

Наиболее полным из общегеологических текстов, написанных на английском языке, является “Геология” Чемберлина и Солсбери в трех томах (Генри Холт, 1904-1906), первый том которого посвящен исключительно геологическим процессам и их результатам. Сокращенное однотомное издание работы, предназначенное для использования в качестве учебного пособия для колледжа, было выпущено в 1906 году (Геологический колледж, Генри Холт). Другие стандартные тексты: —

Сэр Арчибальд Гейки. Учебник геологии, 4-е изд., 2 тома. Лондон, 1902, стр. 1472.

У. Б. Скотт. Введение в геологию. 2-е изд. Макмиллан, 1907, стр. 816.

Дж. Д. Дана. Руководство по геологии. Новое издание. Американская книжная компания, 1895, стр. 1087.

Джозеф Леконт. Элементы геологии. (Переработано Fairchild.) Эпплтон, 1905, стр. 667.

Очень ценным справочником по новейшей литературе по динамической и структурной геологии является “Программа курса лекций по элементарной геологии” Браннера (Стэнфордский университет, 1908).

О связи геологии с ландшафтом был написан ряд интересных книг:—

Джеймс Гейки. Скульптура земли, или Происхождение форм суши. Нью-Йорк и Лондон, 1896, стр. 397.

Джон Э. Марр. Научное изучение пейзажа. Метуэн, Лондон, 1900, стр. 368.

Сэр А. Гейки. Пейзажи Шотландии. 3-е изд. Макмиллан, Лондон, 1901, стр. 540.

Сэр Джон Лаббок. Пейзажи Швейцарии и причины, которым это связано. Макмиллан, Лондон, 1896, стр. 480.

Лорд Эйвбери. Пейзажи Англии. Макмиллан, Лондон, 1902, стр. 534.

Сэр А. Гейки. Пейзаж в истории и другие очерки. Макмиллан, Лондон, 1905, стр. 352.

Н. С. Шалер. Аспекты Земли. "Скрибнерс", Нью-Йорк, 1889, стр. 344.

G. de La Noe et Emm. de Margerie. Les Formes du Terrain, Service Géographique de l'Armée. Париж, 1888, стр. 205, стр. 48.

У. М. Дэвис. Практические упражнения по физической географии с прилагаемым атласом. Гинн и Компания, Бостон, 1908, стр. 148, стр. 45.

Джон Мьюир. Горы Калифорнии. Анвин, Лондон, 1894, стр. 381.

При использовании и интерпретации топографических карт для иллюстрации характерных особенностей земли рекомендуется следующее:—

Р. Д. Солсбери и У. У. Этвуд. Интерпретация топографических карт, проф. Пап., 60 Геол. США. Обзор, стр. 84, стр. 170.

Д. В. Джонсон и Ф. Э. Маттес. Связь геологии с топографией, в книге Брида и Госмера "Принципы и практика геодезии", том. 2. Уайли, Нью-Йорк, 1908 год.

Général Berthaut. Topologie, Étude du Terrain, Service Géographique de l'Armée. Париж, 1909, 2 тома., стр. 330 и 674, стр. 265.

Геологическая служба США бесплатно распространяет список из 100 листов топографического атласа, иллюстрирующих наиболее важные физико-географические типы. В своей “Географической характеристике телосложения” профессор Э. де Мартонн в конце каждой главы привел важные зарубежные карты, иллюстрирующие описанные там физиографические типы.

“Принципы геологии” сэра Чарльза Лайелла, впервые опубликованные в трех томах, появились в 1830-1833 годах и, можно сказать, положили начало современной геологии. Позже сокращенное до двух томов, одиннадцатое издание этого труда вышло в 1872 году (Эпплтон) и может быть с пользой прочитано и изучено сегодня всеми студентами-геологами. Те, кто знаком с немецким языком, получают удовольствие и пользу от прочтения “Erdgeschichte” Ноймайра (2-е изд. переработано Uhlig. Лейпциг и Вена, 2 тома, 1895-1897), и

особенно первый том “Allgemeine Geologie”. Недавняя французская работа, которую следует рекомендовать, - “Черты геологии” Хога (Париж, 1907).

Можно ознакомиться с некоторыми текстами по физической географии, особенно с Emm. de Martonne’s “Traité de Géographie Physique.” Колин, Париж, 1909, стр. 910, стр. 48 и рис. 396.

Примечание. Пояснительный список сокращений, используемых в литературе для чтения, следует за списком иллюстраций.

ГЛАВА II

ФИГУРА ЗЕМЛИ

Литосфера и ее оболочки.— Каменистая часть земли известна как *литосфера*, о которой из непосредственных наблюдений нам известна только тонкая поверхностная оболочка. Относительно неизвестную центральную часть, или “ядро”, иногда называют центросферой. Литосферу окружает водная оболочка, *гидросфера*, которая включает океаны и внутренние водоемы и имеет массу $1/4540$, что у литосферы. При равномерном распределении гидросфера покрывала бы литосферу на глубину около двух миль, вместо того чтобы собираться в бассейнах, как это происходит сейчас. Хотя гидросфера, по-видимому, не является непрерывной, если мы примем во внимание зону подземных вод на континентах, ее можно правильно рассматривать как непрерывную пленку вокруг литосферы. Очень важным фактом является то, что все океанические бассейны связаны, так что уровни корректируются для получения общего отчета о отложениях на всей поверхности, покрытой морем.

Гидросферу окружает газовая оболочка, *атмосфера*, с массой $1/1200000$ массы литосферы. Атмосфера представляет собой смесь газов кислорода и азота в объемных частях от одного первого до четырех вторых с относительно небольшим процентом углекислого газа. Локально и в определенные сезоны атмосфера может быть насыщена относительно большим процентом водяного пара; и мы увидим, что как содержание углекислого газа, так и паров имеют первостепенное значение в геологических процессах и влиянии на климат. В отличие от воды, из которой состоит гидросфера, газы атмосферы поддаются сжатию. Придавливаемые весом сверхнаполняющегося газа слои атмосферы на уровне моря поддерживают давление около пятнадцати фунтов на квадратный дюйм; но это давление неуклонно снижается при подъеме к более высоким уровням. Благодаря непосредственным инструментальным наблюдениям в настоящее время воздух исследован на высоте более двенадцати миль от поверхности Земли.

Эволюция представлений о фигуре земли. Идеи, которые во все века распространялись относительно фигуры земли, были многочисленны и разнообразны. Хотя среди них нет недостатка в чисто умозрительных и фантастических, будет интересно рассмотреть такие теории, которые выросли непосредственно из наблюдений.

Древние евреи и вавилоняне были обитателями пустыни, и в горах, ограничивавших их горизонт, они видели границы земли. Продвинувшись наконец на запад за горы, они обнаружили Средиземное море и таким образом пришли к представлению, что земля представляет собой диск с горным ободом, который плавает по воде. Редкие, но сильные

ливни, к которым они привыкли, — ливневые дожди в пустыне — еще больше привели их к убеждению, что горный хребет продолжается вверх куполом или твердью из прозрачного хрусталя, на котором висят небесные тела и с которого из "небесных окон" вода, "которая находится над землей", изливается на поверхность земли. Какой бы фантастической эта теория ни казалась сегодня, она была основана на наблюдениях и хорошо иллюстрирует опасность рассуждений на основе наблюдений в слишком ограниченной области.

Как только люди начали плавать по морю, было замечено, что поверхность воды выпуклая, поскольку мачты кораблей оставались видимыми еще долго после того, как их корпуса скрылись за горизонтом. Трудно сказать, как скоро было усвоено представление о округлости земли, но оно, безусловно, имеет большую древность. Доминиканский монах Винцентий из Бове в своем труде, завершенном в 1244 году, провозгласил, что поверхности земли и моря имеют сферическую форму. Поэт Данте ясно дал понять, что эти поверхности составляют единое целое, и в своей знаменитой речи "О воде и суше", произнесенной в Вероне 20 января 1320 года, он добавил утверждение, что континенты возвышаются над океаном. Его объяснение этого состояло в том, что континенты притягиваются притяжением неподвижных звезд подобно притяжению магнитов, что дает ранний намек на силу тяготения.

Можно сказать, что округлость земли была впервые доказана, когда корабли Магеллана в 1521 году совершили кругосветное плавание. Кругосветное плавание, вскоре после этого вновь осуществленное сэром Фрэнсисом Дрейком, доказало, что земля представляет собой замкнутое тело, ограниченное изогнутыми поверхностями, частично покрытое океанами и повсеместно атмосферой. Великое открытие Коперника в 1530 году о том, что земля, подобно Венере, Марсу и другим планетам, вращается вокруг Солнца как часть системы, не оставляло места для сомнений в том, что земля, по сути, имеет форму шара.

Сплюснутость земли.— Сегодня каждый школьник знаком с тем фактом, что земля отклоняется от идеальной сферической формы, будучи сплюсненной на концах своей оси вращения. Полярный диаметр обычно указывается как $\frac{1}{299}$ меньше экваториального. Эта сплюснутость сфероида была доказана геодезистами, когда они сравнили длины измеренных градусов дуги на меридианах в высоких и низких широтах.

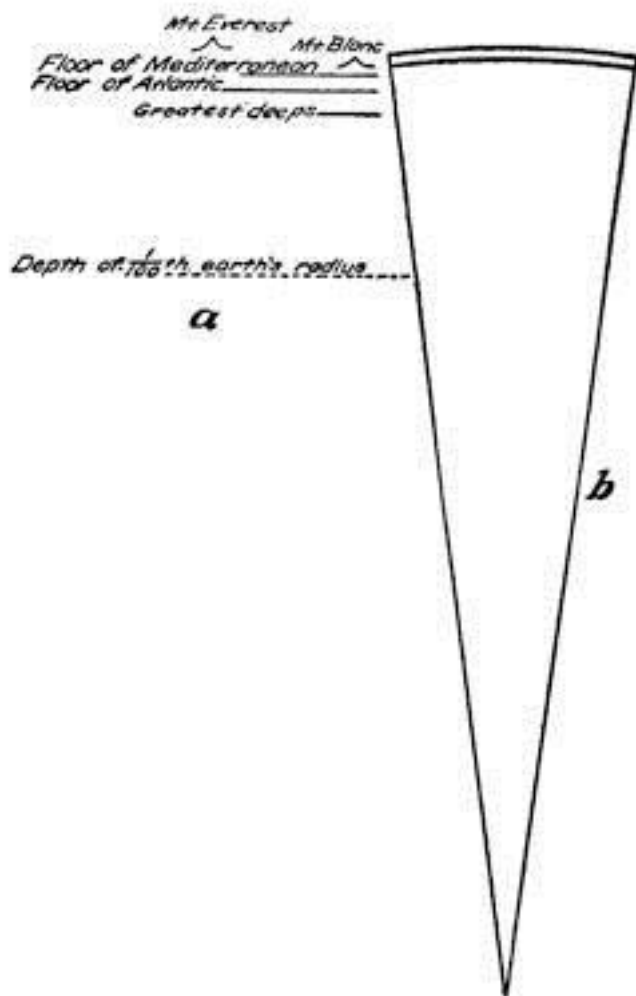


Рис. 1. Диаграммы, позволяющие получить правильное представление о величине неровностей на поверхности земли по сравнению с радиусом земли. Оболочка, представленная на *b* составляет $\frac{1}{100}$ радиуса земли, а на *a* эта зона увеличена для сравнения с неровностями поверхности.

Из общепринятых гипотез хорошо понятно, что сплюснутость геоида является результатом некогда более быстрого вращения планеты, когда ее материалы были более пластичными и, следовательно, более восприимчивыми к деформации. Эластичный обруч, быстро вращающийся вокруг оси в своей плоскости, кажется глазу твердым телом и становится сплюснутым на концах своей оси пропорционально увеличению скорости вращения. Как и Земля, другие планеты солнечной системы имеют такую же сплюснутую форму и зависят от относительных скоростей вращения.

Отклонение геоида от сферической поверхности из-за его сплюснутости настолько мало, что на рисунках, которые мы будем использовать для иллюстрации, оно было бы меньше толщины линии. Поскольку это хорошо известно и не важно для нашего настоящего рассмотрения, мы пока будем говорить о форме земли в терминах отклонений от стандартной сферической поверхности.

Расположение океанов и континентов.—Существуют и другие отклонения от сферической поверхности, помимо только что упомянутой сплюснутости, и эти отклонения, хотя и невелики, считаются весьма значимыми. Чтобы у читателя не сложилось неверного

представления об их величине, было бы неплохо представить диаграмму, нарисованную в масштабе и представляющую видные возвышенности и впадины земли (рис. 1).

Иногда складывается неверное впечатление о строении литосферы из-за того, что ее впадины скрыты океанами. Океаны, действительно, полезны для нас, чтобы показать, где расположены впадины, но фигура земли, которую мы рассматриваем, - это голая поверхность скалы. В широком смысле форма земли будет определяться расположением океанов и континентов. Как только мы приступаем к изучению этого механизма, мы обнаруживаем, что раскрываются довольно существенные факты распределения.



Рис. 2. Карта в проекции Меркатора, показывающая взаимное соотношение участков суши и моря (по Грегори и Арлду).

Одним из наиболее значимых фактов, связанных с распределением суши и моря, является концентрация участков суши в пределах северного, а морей - в пределах южного полушария. Примечательным исключением является возникновение большого и высокогорного Антарктического континента с центром вблизи южного полюса Земли; и есть расширения северного континента в виде сужающихся массивов суши к югу от экватора. Едва ли менее важным, чем существование сухопутного и водного полушарий, является взаимное или противоположное распределение суши и моря (рис. 2). Третий важный факт - это соединение моря и суши в направлении восток-запад. В то время как моря обычно имеют А-образную форму и сужаются к северу, массивы суши имеют V-образную форму и сужаются к югу, *но это происходит в основном в южном полушарии*. Наконец, есть некоторые указания на морской пояс, разделяющий массивы суши на северную и южную части вдоль большого круга, образующего небольшой угол с земным экватором. Таким образом, западный континент почти разделен Средиземным морем — Карибским морем, — а восточный частично разделен из-за отделения Европы от Африки.



Рис. 3. Форма, к которой стремится фигура земли, — тетраэдр с симметрично усеченными углами.

Фигура, к которой стремится земля.—До сих пор в нашем обсуждении фигуры земли мы полностью руководствовались нынешним распределением суши и воды. Однако на поверхности суши имеются впадины, в некоторых случаях простирающиеся ниже уровня моря, которые в настоящее время не заняты водой. Безусловно, наиболее заметной из них является Великая Прикаспийская впадина, которая своим расширением отделяет центральную и восточную Азию на востоке от Африки и Европу на западе. Это углубление совсем недавно было занято морем, и если добавить его к нынешним океаническим бассейнам для обозначения углублений литосферы, то получится, что фигура земли отклоняется от стандартного сфероида *в направлении* формы, представленной на [фиг. 3](#). Эта форма приближается к тетраэдру, фигуре, ограниченной четырьмя равными треугольными гранями, здесь с симметрично усеченными углами. Из всех правильных фигур с плоскими поверхностями тетраэдр имеет наименьший объем для данной поверхности, и, кроме того, он представляет собой обратную зависимость выступа от углубления. Таким образом, каждая линия, проходящая через ее центр, находит поверхность ближе среднего расстояния с одной стороны и, соответственно, дальше с другой ([рис. 4](#)).

Астрономические и геодезические наблюдения.—Подтверждение выводов, сделанных на основе расположения океанов и континентов, было получено в других областях. Было указано, что сплюснутость земли была доказана путем сравнения измеренных градусов широты на поверхности земли в более низких и более высоких широтах, причем по мере приближения к полюсу этот градус увеличивался. Любое отклонение от сферической поверхности, очевидно, должно увеличивать размер измеряемого градуса широты пропорционально отклонению от стандартной формы, и поэтому для четырехгранной фигуры с одним из ее углов на южном полюсе потребуется, чтобы градусы широты были длиннее в южном полушарии, чем в северном. Это было установлено путем измерений, и результат дополнительно подтверждается исследованиями с использованием маятника распределения притяжения Земли. Если меньшая масса земли сосредоточена в южном полушарии, то ее притяжение, измеряемое колебаниями маятника, должно быть соответственно меньшим.

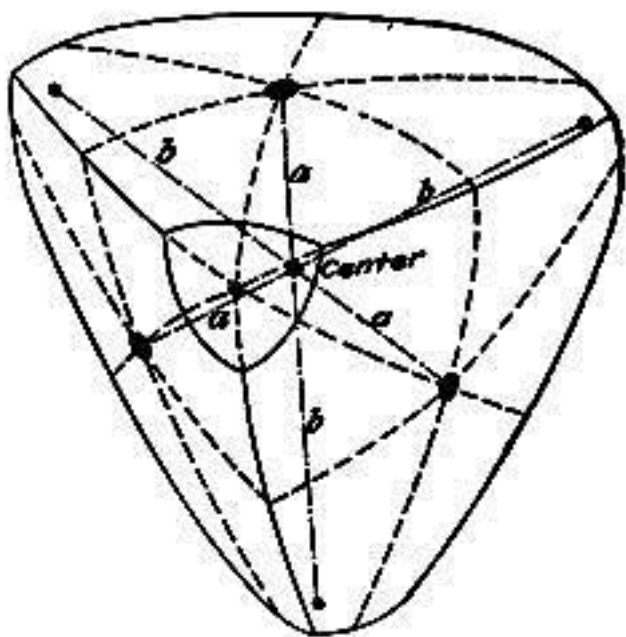


Рис. 4. Усеченный тетраэдр, показывающий, как углубление на одной стороне центра уравнивается противоположным выступом.

Другие подтверждения тетраэдрической формы земли были получены из сравнения астрономических данных, которые предполагают, что земля представляет собой идеальный сфероид, с геодезическими измерениями, которые основаны на прямых измерениях. Таким образом, дуга, измеренная в направлении восток-запад по всей Европе, показала другую кривизну вблизи угла четырехгранной фигуры, чем та, что была обнаружена дальше на восток.

Изменения фигуры при сжатии сферического тела.—Если мы спросим, почему земля при охлаждении должна стремиться приблизиться к четырехгранной фигуре, ответ будет легко найден. Когда земля сформировалась, она, по-видимому, представляла собой лишь слегка сплюснутый сфероид, или практически сферу — форму, которая из всех занимает больше всего места для данной поверхности. Охлажденный и затвердевший на поверхности до температуры окружающего воздуха, а сердцевина все еще горячая и продолжает терять тепло, сердцевина должна продолжать сжиматься, хотя внешняя оболочка больше не в состоянии этого делать. Площадь поверхности, таким образом, поддерживается постоянной, в то время как объем продолжает уменьшаться, фигура должна измениться с начальной наибольшей по объему на другие меньшего объема и, в конечном счете, если процесс будет продолжаться бесконечно, на тетраэдр, который из всех правильных фигур имеет минимальный объем для данной поверхности.

То, что сжимающаяся сфера действительно проходит через такую серию изменений, было показано поведением сжимающихся мыльных пузырей и резиновых шариков, а также экспериментами по истечению воздуха, содержащегося в полых металлических сферах лишь средней прочности. Во всех этих случаях полученная конечная форма указывает на углубление четырех сторон сферы, которые имеют положения граней тетраэдра. Покойный профессор Принц из Брюсселя добился некоторых чрезвычайно интересных результатов, в ходе которых он получил промежуточные формы с шестью углами, но, к сожалению, эти исследования не были подготовлены к публикации на момент его смерти.

Отклонение Земли от сфероида в направлении модифицированного тетраэдра, как мы видели, является не гипотезой, а наблюдаемым фактом, проявляющимся в (1) концентрации суши вокруг центрального океана в северном полушарии; в (2) противоположном отношении суши к акваториям и в (3) тройном разделении поверхности на северный и южный пояса двумя большими океанами и Каспийской впадиной.

Более ранние изображения земли.—Способ, которым континент и океан соединены друг с другом в направлении восток-запад, обычно приводился в качестве дополнительного доказательства вышеописанной четырехгранной фигуры. Более тщательное изучение показывает, что вместо того, чтобы гармонизировать с этой цифрой, она указывает на отход от нее, и, как мы увидим, значительный отход, который, несомненно, берет свое начало в более ранней истории планеты. Средиземные моря как восточного, так и западного полушарий также мешают совершенству четырехгранной фигуры и требуют объяснения.

Давайте затем в общих чертах рассмотрим прошлую историю мира, особенно в отношении эволюции континентов, а также времени и способов изменения поверхности. В настоящее время хорошо известно, что было три основных периода сильной деформации земной оболочки. Первое из них, о котором у нас есть запись, произошло в конце первой великой эры геологической истории, так называемой эозойской эры; вторая великая трансформация произошла в конце второй, или палеозойской, эры; и третья началось в конце следующей, или мезозойской, эры, корректировка, которая, по-видимому, продолжается и по сей день. Каждая из этих значительных деформаций поверхности сопровождалась мощными вулканическими извержениями, свидетельства которых мы имеем в лавах, оставшихся для нашего изучения, и за каждым из них следовало образование огромных ледников, которые распространились на обширные территории существующих континентов.

До самого раннего из этих великих изменений земля, по-видимому, имела форму, близкую к идеальному сфероиду, поскольку повсюду была окружена гидросферой как универсальным океаном. Ближе к концу этого периода произошли изменения, которые привели к тому, что литосфера стала выступать сквозь гидросферу в виде щитообразных континентов, распределение которых, как показывают горные породы этого периода, имеет большое значение. В пределах северного полушария возвышались три наземных щита, расположенных почти через равные промежутки времени и на почти равных расстояниях от северного полюса. Один из них был сосредоточен там, где сейчас находится Гудзонов залив, другой - около нынешнего Балтийского моря, а остатки третьего найдены в северо-восточной Сибири. Эти самые ранние континенты были названы Лаврентийским, Балтийским и Ангарским щитами. В пределах южного полушария щиты, по-видимому, сформировались в несколько сходной группировке, а именно в Южной Америке, Южной Африке и Австралии (фиг. 3 и 5).

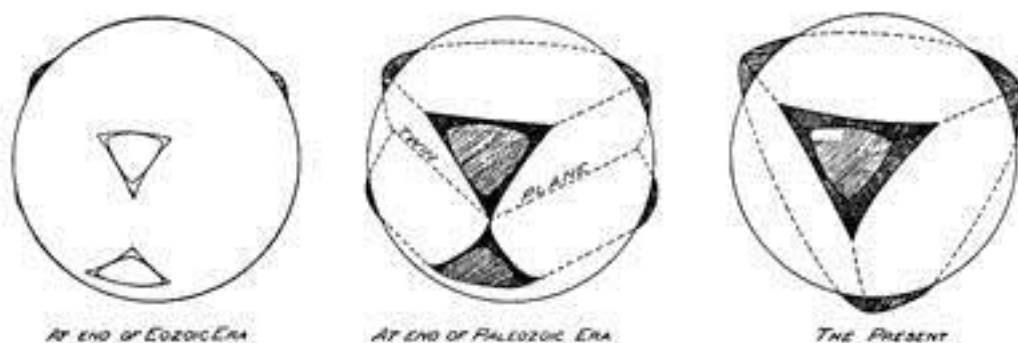


Рис. 5. Приближения к более ранним и нынешним изображениям земли.

Эти углы формы, в которую трансформировался более ранний сфероид земли, сохранялись на протяжении большей части последующего геологического времени и были увеличены за счет роста отложений вокруг них, а также за счет более позднего поднятия и сморщивания этих отложений в окраинные горные цепи.

Континенты и океаны, возникшие в конце палеозойской эры.—В конце второй великой эры в истории Земли, ныне несколько увеличенные континенты подверглись глубоким изменениям в ходе серии конвульсивных движений внутри поверхностной оболочки литосферы. Когда эти конвульсии закончились, произошло новое расположение суши и моря, но совершенно отличное от нынешнего. Вместо того чтобы быть вытянутыми поясами с севера на юг, как это происходит в настоящее время, континенты вытянулись широкими поясами с востока на запад, один в северном, а другой в южном полушарии. Обширному южному континенту, от которого сейчас осталось так мало, было дано название “Земля Гондвана”, а морю, отделявшему северный континент от южного, - “Океан Тетис”. Северный континент простирался на месте нынешнего Атлантического океана как “Северная Атлантида”, его северный берег на западе находился несколько южнее, чем нынешнее северное побережье Северной Америки, поскольку формы жизни мигрировали в северном океане из района Берингова моря в нынешнюю Северную Атлантику.

Такое расположение суши и воды в средний период зарегистрированной истории Земли, если рассматривать его со ссылкой как на более раннюю, так и на более позднюю эволюцию, возможно, лучше всего объяснить предположением, что литосфера имела тогда форму, подобную [рис. 5](#) (середина). На этом рисунке два усеченных тетраэдра соединены в общей плоскости соприкосновения, которую можно описать как двойную плоскость. Это среднее углубление в литосфере было занято межконтинентальным морем, океаном Тетис.

Ближе к концу этой второй великой эпохи континентальной истории Земли конвульсии земной коры, которые, возможно, были самыми заметными за всю историю наблюдений, привели к почти полному исчезновению южного континента и сосредоточению суши в пределах северного полушария в виде несколько прерывистого пояса, окружающего центральный полярный океан ([рис. 3 и 5](#)).

Исходя из предположения о двойных тетраэдрах в промежуточную эпоху эволюции материков, учитываются как океан Тетис того времени, так и его нынешние остатки, Карибское и Средиземное моря. V-образные расширения континентов и А-образные океаны южного полушария ([рис. 2](#)) также можно рассматривать как остатки ныне в значительной степени затопленного тетраэдра южного полушария, поскольку его вершина была обращена на север ([рис. 6](#)).

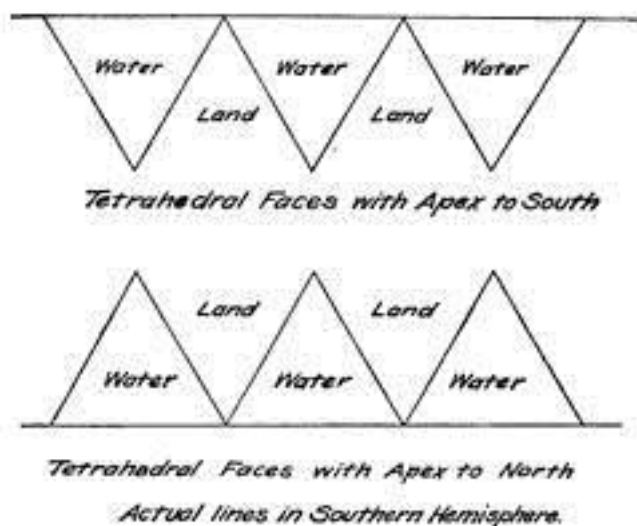


Рис. 6. Диаграммы для сравнения береговых линий на тетраэдрах, имеющих угол, первый на юге, а второй на севере.

Таким образом, мы видим, что литосферу вряд ли можно рассматривать как совершенный сфероид, поскольку в течение геологических эпох она претерпевала последовательные отклонения от этой первоначальной формы. В своем нынешнем состоянии он был описан как четырехгранный, хотя мы должны иметь в виду, что острые углы этой фигуры глубоко усечены. Зондирования, проведенные Нансеном и совсем недавно Пири в арктическом бассейне, далеко к северу от континентальной границы, показали, что эта впадина характеризуется большими глубинами, и, таким образом, подтвердили четырехгранную фигуру. Чтобы соответствовать этой впадине на северной оконечности земной оси, сэр Эрнест Шеклтон проник на высокий континент, достигающий высот более 10 000 футов, на противоположной оконечности этого полярного диаметра. Учитывая его размеры и высоту, Антарктический континент с его ледниковой мантией является крупнейшим выступом на поверхности литосферы.

В нашем исследовании отклонений Земли от стандартной сфероидальной поверхности мы могли бы даже пойти на шаг дальше и показать, как тетраэдр, который наилучшим образом отражает симметрию данного рисунка, несколько деформируется при уплощении перпендикулярно Тихому океану. Чтобы привлечь внимание к этому уплощению земли, его иногда описывают как “картофелеобразный”, поскольку контур, перпендикулярный этой поверхности, имеет форму несовершенного сердца или похож на сплюснутую “верхушку колышка”.

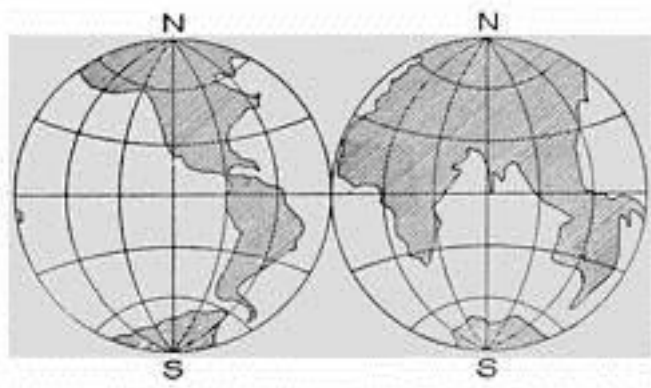


Рис. 7. Континенты с добавленными затопленными участками (после Гилберта).

Затопленные части нынешних континентов.—Мы привыкли думать, что континенты заканчиваются у берегов океанов. Если, однако, мы должны рассматривать их как платформы, поднимающиеся из океанских впадин, их границы должны быть значительно расширены, поскольку затопленный шельф в настоящее время практически окружает все континенты на почти одинаковой глубине 100 морских саженей или 600 футов. Таким образом, океаны более чем заполняют свои бассейны, и можно рассматривать их как разливающиеся по континентам. На [рис. 7](#) затопленные части континентов соединены с обычно изображаемыми, что увеличивает их площадь примерно на 10 000 000 квадратных миль и дает им одну треть вместо одной четвертой поверхности литосферы.

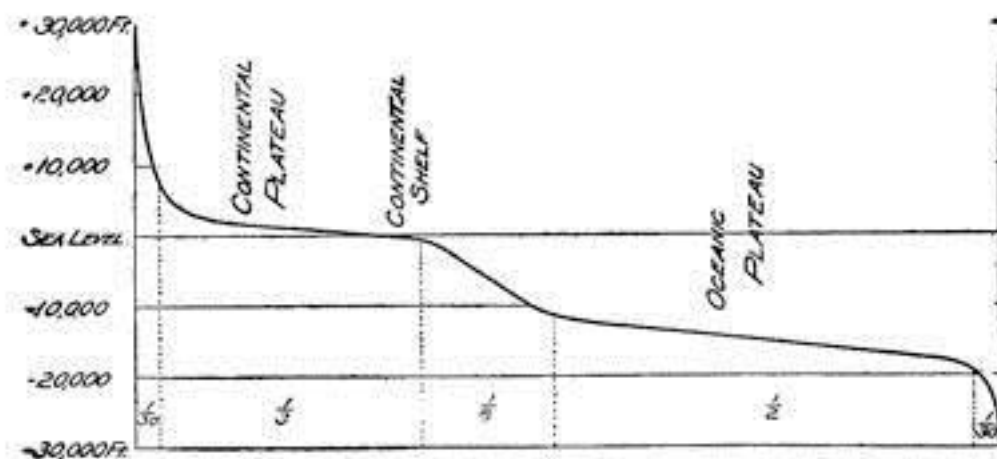


Рис. 8. Диаграмма для обозначения высоты различных участков поверхности литосферы.

Этажи гидросферы и атмосферы.— Самые высокие точки на континентах и самые глубокие впадины океана удалены каждая примерно на 30 000 футов, или почти на 6 миль, от уровня моря. По сравнению со всей поверхностью литосферы эти крайние перепады высот представляют собой такие небольшие участки, что их практически невозможно заметить. Только около $\frac{1}{80}$ of the lithosphere surface rises more than 6000 feet above sea level, and about the same proportion lies deeper than 18,000 feet below the same datum plane ([Fig. 8,,](#)). Почти вся площадь литосферы включена либо в так называемое континентальное плато или платформу, либо в океаническую платформу, либо в склон, разделяющий их. Континентальная платформа включает упомянутый выше континентальный шельф и составляет около трети всей площади планеты. Эта платформа имеет диапазон высот от 6000 футов над уровнем моря до 600 футов ниже и имеет среднюю высоту около 2300 футов. Океаническая платформа имеет более крутой наклон, имеет глубину от 12 000 до 18 000 футов ниже уровня моря и занимает примерно половину поверхности литосферы. Оставшаяся часть поверхности, что-то менее одной восьмой от общей, находится на крутых склонах между двумя платформами, на глубине от 600 до 12 000 футов под водой. Однако две платформы и склон между ними не следует рассматривать как непрерывные элементы на поверхности, а просто как представляющие средние высоты участков литосферы.

Список литературы для чтения к главе II

Об эволюции представлений о фигуре земли:—

Зюсс. "Лицо Земли" (Clarendon Press, 1906), том 2, глава 1.

в. Циттель. История геологии и палеонтологии (Вальтер Скотт, Лондон, 1901), главы 1-2.

Отклонение сфероиды в сторону тетраэдра:—

У. Лоутиан Грин. Остатки расплавленного шара, часть 1. Лондон, 1875. (Сейчас это редкая работа, но она содержит оригинальное изложение идеи.)

Дж. У. Грегори. План Земли и его причины, География. Журнал., том 13, 1899, стр. 225-251 (наилучшее общее изложение аргументов в пользу тетраэдрической формы).

W. Prinz. L'échelle reduite des expériences géologiques, Bull. Soc. Belge d'Astronomie, 1899.

Б. К. Эмерсон. Тетраэдрическая Земля и зона Межконтинентальных морей, Бык. Геол. соц. Ам., том 11, 1911, стр. 61-106, стр. 9-14.

М. П. Рудский. Физика природы (Таухниц, Лейпциг, 1911), главы 1-3 (лучшее обсуждение геоида с чисто математической точки зрения, поскольку речь идет о сфероиде).

Более ранние изображения земли:—

Т. Н. Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Engelmann, Leipzig, 1907. (Содержит ценную серию картографических табличек, показывающих вероятные границы континентов в разные геологические периоды).

ГЛАВА III

ПРИРОДА МАТЕРИАЛОВ В ЛИТОСФЕРЕ

Жесткое качество нашей планеты. Долгое время предполагалось, что твердая земля представляет собой всего лишь кору, которая плавает на жидкой поверхности. Это представление явно было результатом общепринятой в то время гипотезы Лапласа о происхождении Вселенной, которая предполагала жидкие внутренности планет, а кора была предложена зимней корой замерзшей воды на поверхности наших внутренних озер. Сегодня небулярная гипотеза в форме Лапласа быстро уступает место совершенно иным концепциям, в соответствии с которыми предполагается, что литосферу образовали твердые частицы, а не газообразные. Аналогия с замерзшей водой также была отброшена с открытием, что замерзшая порода вместо того, чтобы плавать, тонет в своем расплавленном эквиваленте.

Однако были выдвинуты еще более убедительные аргументы, показывающие, что каким бы ни было агрегатное состояние внутри ядра Земли — и оно может отличаться от любого из ныне известных нам — оно, тем не менее, обладает многими свойствами, признанными присущими твердым телам. Следовательно, временно мы можем рассматривать ядро земли как твердое и по существу твердое вещество. Давным-давно покойный лорд Кельвин указал, что если бы наша литосфера не была более жесткой, чем стеклянный шар того же размера, она постоянно подвергалась бы периодическим шестичасовым искажениям большой амплитуды в ответ на изменяющееся притяжение Луны. Не менее ярким аргументом, исходящим от того же высокого авторитета, является хорошо известная демонстрация вращения яиц. Например, Кельвин имел обыкновение брать два яйца, одно вареное, а другое сырое, и пытаться раскрутить их на концах. Для вареного и, по существу, твердого яйца это легко сделать, но внутреннее трение жидкого содержимого сырого яйца быстро останавливает любое вращательное движение, которое ему придается. На том же основании

утверждается, что если бы недра земли обладали свойствами жидкости, вращение должно было бы давным-давно прекратиться.

Инструментальное исследование землетрясений недавно предоставило более веское доказательство жесткости земли, чем любое из вышеперечисленных. С помощью тонкой аппаратуры, которая в настоящее время установлена для этой цели, можно обнаружить сильные землетрясения, произошедшие в любой точке земной поверхности, движение земли посылает свое собственное сообщение кратчайшим путем через ядро земли на станцию наблюдения. Сильный шок, произошедший в Новой Зеландии, был зарегистрирован в Англии, почти диаметрально противоположный, примерно через двадцать одну минуту после его возникновения. Законы распространения волн и их связь со свойствами передающей среды хорошо известны, и для объяснения такой необычайной скорости необходимо предположить, что для таких импульсов недра земли гораздо более твердые, чем самая тонкая инструментальная сталь.

Вероятный состав ядра Земли.—При составлении представлений о природе недр Земли нам в значительной степени помогают астрономические исследования. Общее происхождение, давно указанное для планет солнечной системы и солнца, было подтверждено анализом света с помощью спектроскопа. Таким образом, было обнаружено, что те же химические элементы, которые мы находим на земле, присутствуют также на солнце и в других звездных телах. Опять же, группа ближайших к солнцу планет солнечной системы — Меркурий, Венера, Земля и Марс - имеют высокую плотность, каждая из них, за исключением Марса, самого удаленного, имеет удельный вес, очень близкий к $5\frac{1}{2}$, тогда как удельный вес Марса составляет около 4. Этот средний удельный вес характерен также для твердых тел, так называемых метеоритов, которые достигают поверхности нашей планеты из окружающего пространства. И все же, хотя удельный вес земли в целом в пять с половиной раз превышает удельный вес воды, средняя плотность ее поверхностной оболочки составляет менее половины этого значения, или 2,7.

Изучение метеоритов дало нам возможный ключ к разгадке природы недр земли; поскольку, когда оба типа горных пород - земные и небесные - классифицированы и расположены в упорядоченном порядке, обнаруживается, что химические элементы, составляющие две группы, идентичны и что они объединены в соответствии с одними и теми же физическими и химическими законами. В одной группе не было открыто ни одного нового элемента, который не был бы обнаружен в другой, и хотя в земной коре встречаются некоторые соединения этих элементов, минералы, которые не были обнаружены в метеоритах, и хотя некоторые встречаются в метеоритах, которые не известны с земли, все же относительно тех, которые являются общими для обоих тел, существует согласие даже в незначительных деталях (рис. 9). Однако обнаружено, что наиболее распространенные минералы в земной оболочке отсутствуют в метеоритах, поскольку в земной коре отсутствуют более распространенные компоненты метеоритов. Это наблюдение показало бы, что в обоих случаях мы, возможно, исследуем разные участки весьма сходных тел; и эта точка зрения убедительно подтверждается, когда породы двух групп расположены в порядке их плотности (рис. 9).

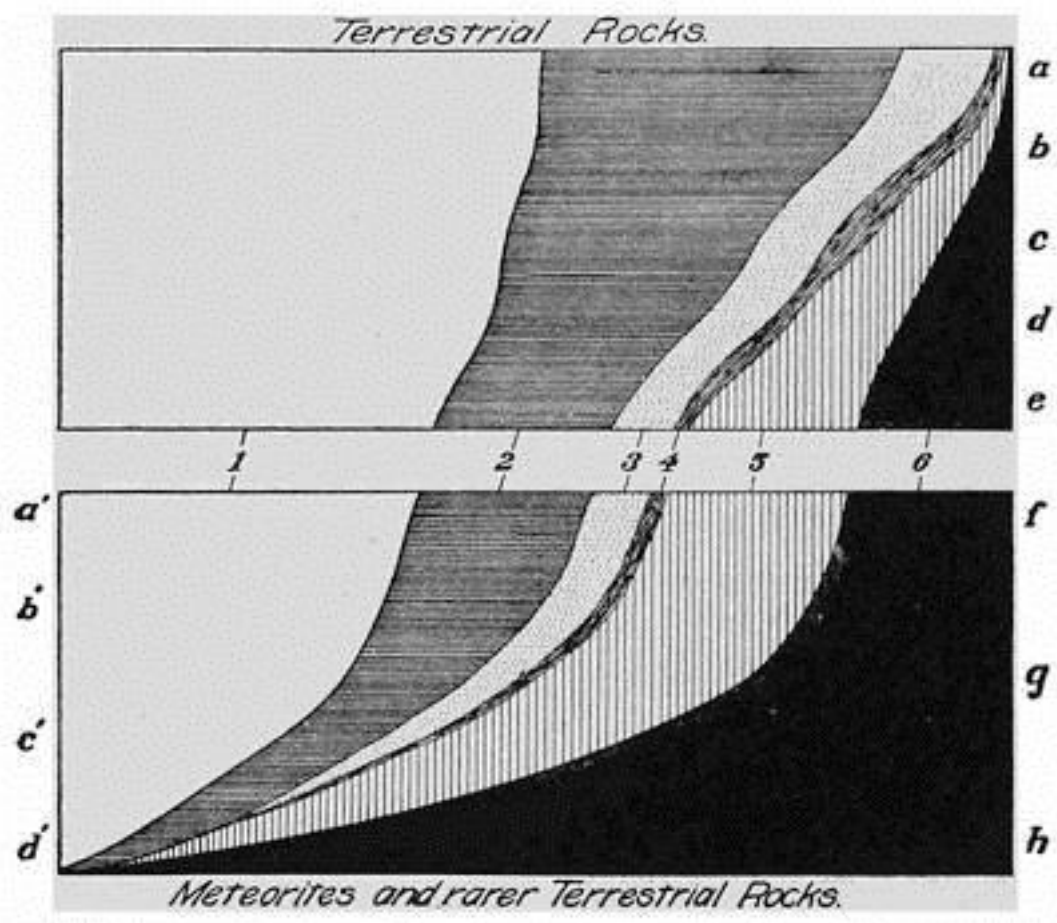


Рис. 9. Диаграмма, показывающая, как земные породы подразделяются на породы метеоритов. 1, кислород; 2, кремний; 3, алюминий; 4, щелочные металлы; 5, щелочноземельные металлы; 6, железо, никель, кобальт и т.д.; а, граниты и риолиты; b, сиениты и трахиты; с, диориты и андезиты; d, габбро и базальты; е, ультраосновные породы; f, основные отложения в базальте и т.д.; g, железные базальты западной Гренландии; h, железные массивы Овифака, западная Гренландия; а'—d', метеориты в порядке плотности (по Джадду).

В широком смысле плотность, структура и химический состав - все они аналогичным образом участвуют в грациях, проиллюстрированных диаграммой; и важно, что, хотя существуют земные породы, не представленные метеоритами, самые плотные и необычные земные породы химически почти идентичны менее плотным небесным телам.

Земля - это магнит. Более плотные и, следовательно, более распространенные метеоритные породы — так называемое метеоритное железо - почти полностью состоят из элементов железа, никеля и кобальта. Такие скопления пока неизвестны из наземных источников, хотя переходные типы, по-видимому, существуют на острове Диско у западного побережья Гренландии. Если бы было возможно исследовать недра земли, можно ли было бы встретить такие сочетания минералов железа? Помимо удивительной скорости распространения волн землетрясений, самым веским аргументом в пользу наличия железного ядра в литосфере являются магнитные свойства Земли в целом. Единственные известные нам магнитные элементы — это элементы тяжелых метеоритов - железа, никеля и кобальта, — а земля, как мы знаем, является великим магнитом, северный полюс которого в Британской Америке и южный полюс в Антарктиде наконец посетили Амундсен и Дэвид соответственно. Удельный

вес железа составляет 7,15, а никеля и кобальта, которые в метеоритах присутствуют в относительно небольших количествах, - 7,8 и 7,5 соответственно. Учитывая, что поверхностная оболочка Земли имеет удельный вес 2,7, эти значения следует рассматривать как хорошо согласующиеся с определенной плотностью Земли (5,6) и других планет ее группы (Меркурий 5,7, Венера 5,4, Марс 4).

Химический состав поверхностной оболочки земли. Число так называемых химических элементов, входящих в состав земли, превышает восемьдесят, но лишь немногие из них являются важными составляющими известной нам части. Почти половину массы этой оболочки составляет кислород, и более четверти - кремний. Оставшаяся четверть в основном состоит из алюминия, железа, кальция, магния и щелочей натрия и калия, в указанном порядке. Таким образом, эти восемь составляющих элементов являются единственными, которые играют какую-либо важную роль в составе поверхностной оболочки земли. Они встречаются там не в свободном состоянии, а в сочетании в определенных пропорциях, характерных для химических соединений, и как таковые они известны как *минералы*.

Сущность кристаллов.—Кристалл, о котором мы привыкли думать как о чем-то прозрачном, ограниченном острыми краями и углами, наши идеи были почерпнуты в основном из драгоценных минералов. Однако эта внешняя симметрия формы является всего лишь выражением силы, которая пребывает, так сказать, в сердце или душе кристаллического индивидуума — у нее есть свой собственный структурный состав, своя индивидуальность. Путем изучения одних только внешних форм двух минералов можно было бы получить не более правильные оценки при сравнении индивидуальных особенностей кристаллов, чем при суждении о людях по покрою их одежды. Слишком часто эта внешняя одежда говорит только об условиях, которыми были окружены как люди, так и кристаллы, и очень мало о силе, присущей индивидууму. Многие потрепанные фрагменты минералов, не отличающиеся особой красотой, чтобы рекомендовать их для использования, при помещении в подходящие условия для их развития превращаются в чудо красоты. Немногие минералы настолько ничтожны, что в них нет той врожденной силы индивидуальности, которая возвышает их над миром аморфного и бесформенного.

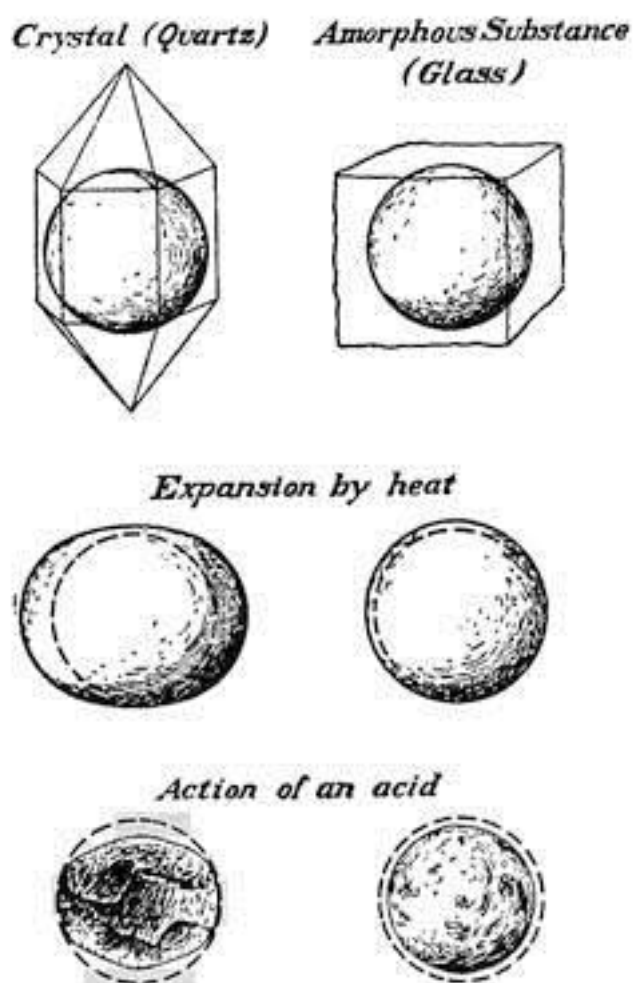


Рис. 10. Сравнение кристаллического вещества с аморфным при расширении под действием тепла и при воздействии кислоты.

Точно так же, как истинная природа человека впервые раскрывается по его поведению в трудных обстоятельствах, так и в кристалле его поведение в условиях стресса того или иного рода выявляет его истинный характер. В качестве иллюстрации давайте приготовим сферу из минерала кварц - не имеет значения, разрушим ли мы красивые очертания кристалла или используем отбитый фрагмент, — а затем приготовим сферу аналогичного размера и формы из некристаллического или аморфного вещества, такого как стекло. Если теперь эти две сферы поместить в масляную ванну и нагреть до более высокой температуры, стеклянный шар увеличится без изменения своей формы; но хрустальный шар проявит свою индивидуальность, расширяясь в сфероид, в котором каждое новое измерение прекрасно вписывается в эту более сложную фигуру (рис. 10).

Мы можем, вместо того чтобы подвергать два шарика “испытанию огнем”, подвергнуть каждый из них воздействию мощного реагента - плавиковой кислоты. Обычное стекло под воздействием кислоты остается таким же, каким оно было раньше, - сферой, но с уменьшенными размерами. Кристалл, с другой стороны, способен контролировать действие растворителя, и при этом его индивидуальность снова раскрывается в прекрасно выгравированном рисунке со множеством изгибающихся контуров — это как если бы кристалл обладал душой, которая была раскрыта при этом испытании. Это представление о природе кристалла, позволяющее выявить его структурную красоту, становится еще более удивительным, когда кристалл извлекают из кислоты на ранних стадиях воздействия и подносят близко к глазу. Теперь маленькие гравюры на поверхности отображают

индивидуальность вещества и, соединяясь со своими соседями, создают красиво симметричную и совершенно характерную картину (рис. 11).

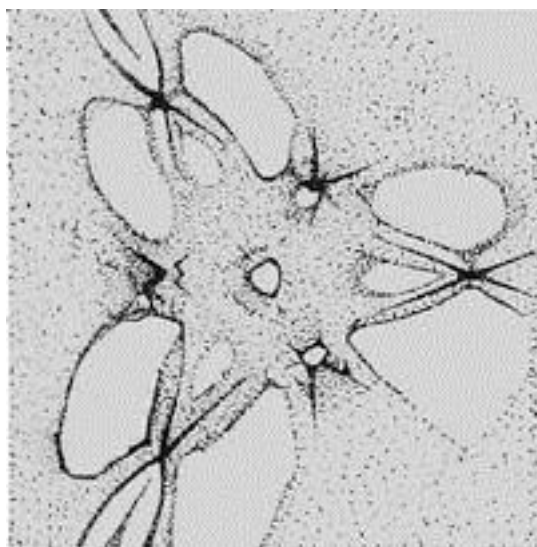


Рис. 11. “Световой рисунок”, видимый на вытравленной поверхности кристалла кальцита (по Гольдшмидту и Райту).

Литосфера представляет собой комплекс взаимосвязанных кристаллов.— Для непрофессионала хрусталь - это нечто редкое и дорогое, что можно приобрести у ювелира или увидеть выставленным в витринах великих музеев. И все же одним из наиболее поразительных свойств литосферы, которое отделяет ее от гидросферы и атмосферы, является ее кристаллическая структура, структура, присущая также метеориту и, без сомнения, всем планетам земной группы. Снежинка, подхваченная во время падения с неба, раскрывает весь тонкий узор кристаллической границы; собранная из толстого слоя, лежащего на земле, она выглядит как замысловатое скопление более или менее прочно сцементированных друг с другом осколков. Так же обстоит дело и с литосферой, поскольку мириады индивидуумов являются либо обломками бывших кристаллов, либо они срослись таким образом, что грани кристаллов не имели возможности развиваться.

Такие минеральные частицы, которые когда-то обладали кристаллической формой, возможно, были разбиты, и их поверхности стерлись в результате взаимного истирания под ритмичным биением волн о берег или при непрерывном перекачивании гальки по руслу ручья, пока в виде потрепанных останков они не будут свалены в кучу на песчаном ложе. Однако никакое количество такого грубого обращения не способно разрушить индивидуальность кристаллов, и если теперь они окружены условиями, подходящими для их роста, их индивидуальная природа снова проявляется в новых очертаниях кристаллов. Многие из наших песчаников, повернутые на ярком солнечном свете, испускают вспышки света, которые ранней весной соперничают со снежным покровом. Эти яркие вспышки исходят от граней мельчайших кристаллов, образованных вокруг каждой округлой песчинки, и если мы рассмотрим их через линзу, то сможем отметить красоту линий, сформированных с такой точностью, что самые тонкие инструменты не смогут обнаружить разницы между одинаковыми углами наклона соседних кристаллов (рис. 12).

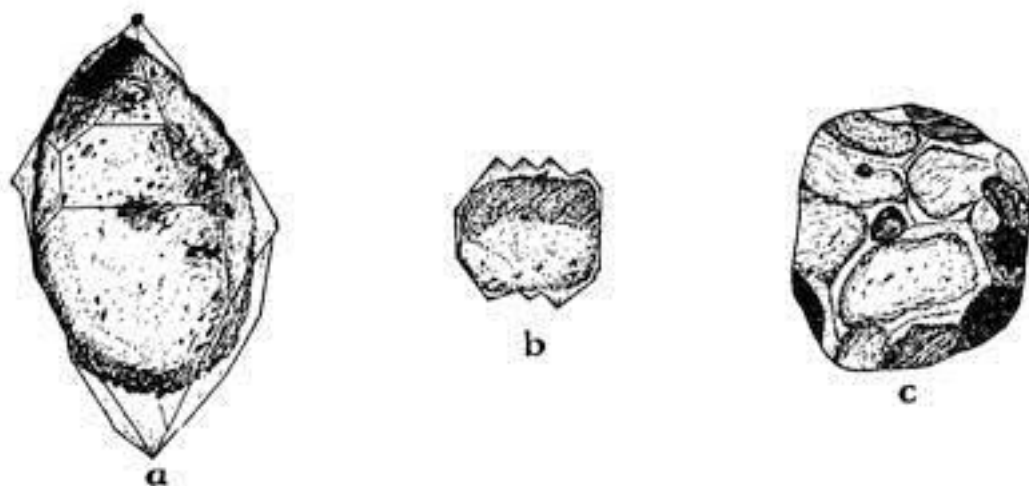


Рис. 12. Измельченные песчинки, которые обрели новую жизнь и приобрели кристаллическую форму. *а*, одиночное зерно, выросшее в отдельный кристалл; *б*, параллельный рост вокруг отдельного зерна; *с*, рост соседних зерен до тех пор, пока они не вступят во взаимное взаимодействие и, таким образом, не разрушат грани кристалла — обычное состояние в массиве породы (по Ирвингу и Ван Хайзу).

Считается, что эта индивидуальная природа кристалла заключается в симметричной группировке химических молекул вещества в более крупные, так называемые “кристаллические молекулы”. Кристаллические свойства присущи химическим элементам и их соединениям в твердом состоянии, но не обычным их смесям.

Некоторые свойства природных кристаллов, минералов.— В кристаллах не бывает двух видов минералов одинакового внешнего вида, более чем двум видам животных была придана одинаковая форма; и поэтому минералы можно распознать по индивидуальным особенностям их кристаллов. Однако по той причине, что кристаллам, как правило, не давали развиваться или сохранить свои характерные грани, в подавляющем числе случаев для идентификации используется поведение, а не внешний вид минерального вещества.

Когда минерал разрушается под ударом молотка, вместо того, чтобы образовывать неровный излом, как у стекла, он обычно имеет тенденцию раздваиваться в одном или нескольких направлениях, оставляя плоские поверхности. Это свойство *расщепления* поразительно проиллюстрировано для единственного направления в минеральной слюде, для двух направлений в полевом шпате и для трех направлений в кальците или исландском шпате. Другие свойства минералов, такие как твердость, удельный вес, блеск, цвет, плавкость и т.д., используются при приблизительном определении минералов. Гораздо более тонкие методы зависят от поведения минералов при наблюдении в поляризованном свете, и такое поведение является основой тех разделов геологической науки, которые известны как оптическая минералогия и микроскопическая петрография. Общее описание некоторых распространенных минералов и способов их идентификации приведено в приложении А.

Изменения минералов.— Гораздо большее количество минералов образовалось при охлаждении и последующем уплотнении расплавленного горного материала, например, во время извержения вулкана, достигающего поверхности земли в виде лавы. Начиная свой рост во многих точках вязкой массы, отдельные кристаллы в конечном итоге могут срастаться и таким образом предотвращать развитие своих кристаллических граней.

Другой класс минералов откладывается из водного раствора в полостях и трещинах горных пород; и если этот процесс прекращается до того, как полости будут полностью закрыты, минералы выступают из стен в виде красивой кристаллической облицовки — *Krystallkeller* или “хрустальный погреб”. Именно из таких карманов или жил в горных породах добываются ценные руды, а также кристаллы, которые выставлены в наших шкафах с минералами.

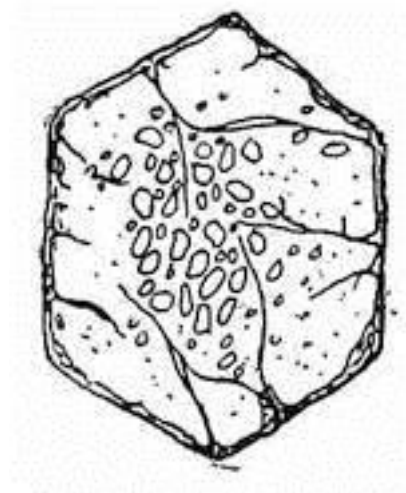


Рис. 13. Кристалл граната, образовавшийся в сланце с включенными в него зернами кварца, поскольку они не были ассимилированы.

Однако существует третий процесс, посредством которого образуются минералы, и минералы этого класса образуются в твердой породе как продукт изменения ранее существовавших минералов. Под огромным давлением горных пород, залегающих глубоко под поверхностью земли, они столь же проницаемы для просачивающихся вод, как губка на поверхности. В этих условиях определенные минералы растворяются, и их материал повторно осаждается после перемещения в растворе, или раствор и повторное осаждение минерального вещества могут происходить одновременно в массе одной и той же породы. Один новый минерал мог быть получен из растворенных материалов ряда более ранних видов, или несколько новых минералов могут быть результатом изменения ранее существовавшего минерала с более сложной химической структурой. Там, где новый минерал образовался “на месте”, ему иногда удавалось использовать материалы всех минералов, которые там ранее существовали, или, возможно, он был вынужден включить в себя те более ранние компоненты, которые он не смог ассимилировать в своей собственной структуре (рис. 13).



Рис. 14. Кристалл авгита в толще породы, частично измененный с образованием ободка из минералов роговой обманки и магнетита. Обратите внимание на первоначальные очертания кристалла авгита.

В других случаях кристалл, внедренный в горную породу, подвергался воздействию просачивающихся растворов на своей поверхности, и растворенные материалы осаждались на месте в виде короны из новых минералов, которая неуклонно расширяет свою зону, пока не будет достигнут центр и исходный кристалл не будет полностью преобразован (рис. 14). Иногда можно сказать, что действие, посредством которого были вызваны эти изменения, включало в себя хорошую регулировку подачи химических компонентов, необходимых для образования нового минерала или минералов. В горных породах, представляющих собой агрегаты нескольких видов минералов, новообразованный минерал может появиться только на общем краю некоторых из этих видов, что показывает, что они поставляют те химические элементы, которые были необходимы для образования нового вещества (рис. 15). Таким образом, видно, что под поверхностью земли постоянно происходят химические реакции, и, таким образом, более ранние породы локально трансформируются в другие с другим минеральным составом.



Рис. 15. Новый минерал (роговая обманка), образующийся как промежуточный “реакционный ободок” между минералом с неправильными изломами (оливином) и пыльно—белым минералом (известково-натриевым полевым шпатом).

Вблизи поверхности Земли углекислый газ и влага, присутствующие в атмосфере, постоянно превращают открытые участки литосферы в карбонаты, гидраты и оксиды. Эти соединения более растворимы, чем минералы, из которых они были образованы, и они также более объемны и поэтому имеют тенденцию откалываться от исходной массы, на основе которой они были образованы. Как мы увидим, по обеим этим причинам поверхностные породы литосферы поддаются этой атаке из атмосферы.

В связи с теми изгибами поверхностной оболочки литосферы, из которых возникают горы, подстилающие породы подвергаются большим деформациям, и даже там, где не образуется видимых расслоений, породы деформируются так, что отдельные минералы могут изгибаться в форме полумесяца или S-образной формы, или они разделяются на один или несколько фрагментов, которые остаются вмурованными в породу.

Список литературы для чтения к главе III

Теории происхождения земли:—

Томсон и Тейт. Естественная философия. 2-е изд. Кембридж, 1883, стр. 422.

Т. К. Чемберлин. Геология Чемберлина и Солсбери, том 2, стр. 1-81.

Жесткость земли:—

Лорд Кельвин. Внутреннее состояние Земли в отношении температуры, текучести и жесткости, Популярные лекции и обращения, том 2, стр. 299-318; Обзор свидетельств, касающихся физического состояния Земли, *там же.*, стр. 238-272.

Хоббс. Землетрясения (Эпплтон, Нью-Йорк, 1907), главы XVI и xvii.

Состав ядра и оболочки Земли:—

О. К. Фаррингтон. Внеземная история метеоритов, журнал. Геол., т. 9, 1901, с. 623-236.

Э. С. Дана. Минералы и способы их изучения (книга для начинающих в минералогии). Уайли, Нью-Йорк, 1895.

О природе кристаллов:—

Виктор Гольдшмидт. Ueber das Wesen der Krystalle, Ostwalds Annalen der Naturphilosophie, vol. 9, 1909-1910, pp. 120-139, 368-419.

ГЛАВА IV

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫВАЮТ

Процессы, посредством которых образуются горные породы.—Горные породы могут образовываться любым из нескольких способов. Когда часть расплавленной литосферы, так называемая *магма*, остывает и уплотняется, продуктом является *магматическая* порода. Магматическая или иная горная порода может разрушаться на поверхности земли и после более или менее длительного перемещения по воздуху, в воде или во льду откладываться в виде осадочных пород. Такие отложения, независимо от того, сцементированы они в когерентную массу или нет, описываются как *осадочные* или *обломочные* породы. Если жидкостью, из которой они были отложены, была атмосфера, они известны как *субаэриальные* или *эоловые* отложения; но если вода, они известны как *подводные* отложения. Еще один класс - отложения льда, известные как *ледниковые* отложения.

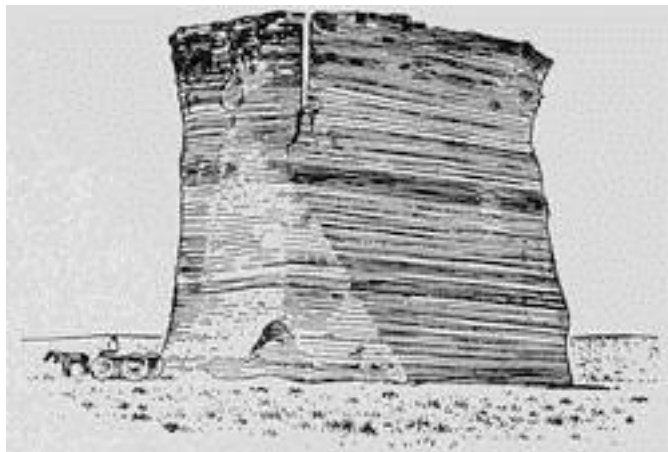


Рис. 16. Слоистая структура осадочных пород, Западный Канзас (по фотографии Э. С. Такера).

Но, как мы узнали, горные породы могут претерпевать трансформации в результате изменения минералов, и в этом случае они известны как *метаморфические* горные породы. Когда эти изменения заключаются главным образом в образовании большого количества растворимых минералов на поверхности, сопровождающихся тщательной дезинтеграцией из-за прямого воздействия атмосферы, образующиеся породы называются *остаточными* породами.

Знаки происхождения.Каждый из трех больших классов горных пород — магматических, осадочных и метаморфических - характеризуется как более грубыми, так и более тонкими структурами, при исследовании которых они могут быть идентифицированы. Магматические породы, образовавшиеся из магм, которые по существу однородны, обычно не имеют определенных направленных структур из-за расположения их составляющих, и, как говорят, имеют *массивную* структуру. Осадочные породы, с другой стороны, образовались в результате процесса сортировки, причем более крупные и тяжелые фрагменты были отложены при высокой скорости ветра или течения воды, а более мелкие и легкие фрагменты - в промежуточные периоды. Поэтому они более или менее полосчатые и, как говорят, имеют *слоистую* или *ламинированную* структуру (рис. 16).

Опять же, магматические породы, возникшие в результате процесса кристаллизации, состоят из отдельных минералов, которые ограничены либо плоскостями кристаллов, либо неровными поверхностями, вдоль которых соседние кристаллы взаимодействуют друг с другом; но в любом случае зерна обладают резко угловатыми границами. Совершенно иным был результат истирания зерен при транспортировке и отложении отложений, поскольку для осадочных пород характерно, что составляющие их зерна хорошо округлены. Эоловые отложения обычно имеют более идеально округлые зерна, чем подводные отложения.

Ледниковые отложения, если они отложены непосредственно льдом, не стратифицированы, относительно крупнозернисты и содержат гальку, которая имеет как граненую, так и бороздчатую форму. Такие отложения называются тиллем или тиллитом. Если материал, полученный из ледника, подхватывается потоками талой воды и повторно откладывается ими, отложения сортируются или стратифицируются, и они описываются как *речно-ледниковые* отложения.

Метаморфические породы.— Как более грубые структуры, так и более тонкие текстуры метаморфических пород являются промежуточными между таковыми магматического и осадочного классов. Метаморфизованная осадочная порода пропорционально своим изменениям теряет совершенную слоистость и округлую зернистость, которые были ее отличительными чертами; в то время как магматическая порода приобретает в процессе несовершенную полосчатость, а острые углы составляющих ее зерен скругляются в результате своего рода периферийного дробления или гранулирования. Таким образом, метаморфические породы характеризуются несовершенно полосчатой структурой, описываемой как *сланцеватость* или *полосчатость гнейса*, а составляющие их зерна могут быть как угловатыми, так и округлыми. Если метаморфизм был не слишком интенсивным или продолжался слишком долго, как правило, можно определить, особенно с помощью поляризационного микроскопа, была ли исходная порода, из которой он был получен, магматического или осадочного происхождения. Однако существует множество примеров, которые не поддаются достоверному определению относительно их происхождения.

Характерные текстуры магматических пород.—В дополнение к массивности их общего вида и угловатым границам составляющих их элементов, существует множество дополнительных текстур, характерных для магматических пород. В то время как те, которые консолидировались под поверхностью Земли, *интрузивные* породы, особенно компакты, магмы, которые достигают поверхности литосферы до их консолидации, обнаруживают особые структуры, зависящие либо от расширения пара и других газов внутри них, либо от условий течения по поверхности земли. Магмы, которые таким образом достигают поверхности земли, описываются как *лавы*, а породы, образующиеся в результате их уплотнения, являются *экструзивными* или *вулканическими* породами. Пар, содержащийся в лаве, расширяется в пузырьки или везикулы, которые могут быть большими или маленькими, немногочисленными или многими. В зависимости от количества и размера этих полостей считается, что порода имеет *везикулярную*, *шлакообразную* или *пемзовую* текстуру.

Большинство лав, когда они достигают поверхности земли, содержат кристаллы, которые более или менее рассеяны по всей расплавленной массе. Турист, посещающий Везувий во время легкого извержения, может сунуть свой посох в поток лавы и извлечь порцию вязкого вещества, в котором видны красивые белые кристаллы минерала лейцита, каждый из которых ограничен двадцатью четырьмя гранями кристалла. Ясно, что эти кристаллы, должно быть, образовались в результате медленного роста внутри магмы, когда она еще находилась под поверхностью, и когда вмещающая лава уплотнилась, эти более ранние кристаллы лежат разбросанными в *основной массе* стекловидного или мелкокристаллического материала. Это рассеяние кристаллов, принадлежащих к более раннему поколению, в основной массе из-за более позднего уплотнения, таким образом, указывает на прерывание процесса кристаллизации, и полученная в результате текстура описывается как *порфировая* (рис. 17 б). Если лава выходит на поверхность до образования каких-либо кристаллов и быстро уплотняется в виде каменного стекла, ее текстура описывается как *стекловидная* (рис. 17 с).

Когда кристаллы более раннего поколения многочисленны и имеют игольчатую форму, как это очень часто бывает, они располагаются “торцом” во время течения породы, так что, когда происходит уплотнение, порода приобретает своего рода сморщенную слоистость, которая является характеристикой *флюксии* или *текучести* текстуры. Эту текстуру иногда путали со слоистостью осадочных пород, в результате чего были сделаны неправильные выводы относительно происхождения. В других случаях те же иглообразные кристаллы внутри лавы группировались радиально, образуя округлые конкреции, называемые сферолитами. Такие конкреции придают породе *сферолитовую* текстуру, которая нигде не проявляется лучше, чем в красивых стекловидных лавах Обсидианового утеса в Йеллоустонском национальном парке.

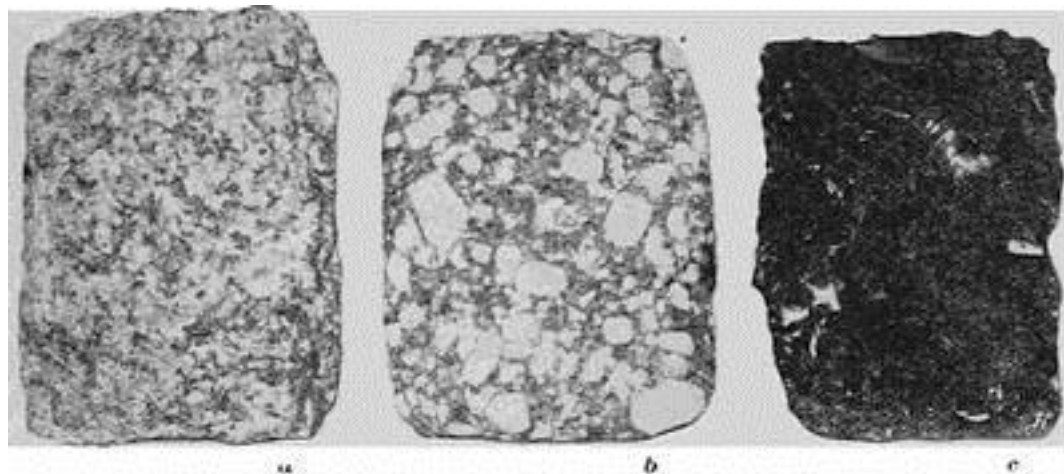


Рис. 17. Характерные текстуры магматических пород. *а*, гранитная текстура, характерная для глубоко залегающих интрузивных пород; *б*, порфировая текстура, характерная для экструзивных и приповерхностных интрузивных пород; *с*, стекловидная текстура экструзивной породы.

Те интрузивные породы, которые консолидируются глубоко под поверхностью земли, отдают свое тепло, но медленно, и поэтому процесс кристаллизации продолжается без перерыва. Начиная со многих центров, кристаллы продолжают расти до тех пор, пока они не пересекутся друг с другом в взаимосвязанном комплексе, известном как *гранитная* текстура (рис. 17 *а*).

Классификация горных пород.—Таким образом, в табличной форме горные породы могут быть классифицированы следующим образом:—

Магматический. Массивный и с резко угловатыми зернами.



Осадочный. Слоистый и с округлыми зернами.



Интрузивный. Гранитная или порфировая структура.

Экструзивный. Стекловидная или порфировидная текстура; часто также с везикулярной, шершавой, пензовой, флюсиновой или сферолитовой текстурой.

Субаэриальный. Пески и лесс.

Подводный. (См. Ниже.)

Метаморфический.
Сланцеватый, с угловатыми
или округлыми зернами.



Ледниковый. Крупные,
нерасслоенные отложения с
граненой галькой. Тилл и
тиллиит.

Речно-ледниковый.
Слоистые пески и гравий с
“обработанными”
ледниковыми признаками.

*Собственно
метаморфический.* Из-за
изменений под
поверхностью.

Остаточный. Распался на
поверхности или вблизи нее.

Подразделения осадочных пород.—В то время как все эоловые отложения являются продуктом чисто механического процесса подъема, транспортировки и осаждения частиц горных пород, это не всегда относится к подводным отложениям, поскольку вода обладает способностью растворять минеральные вещества, а также создавать дом для животной и растительной жизни. Отложения, которые находились в растворе в воде, описываются как *химические* отложения, а те, которые сыграли определенную роль в жизненном процессе, как *органические* отложения. Органическими отложениями из растительных источников являются торф и каменные угли, в то время как известняки и мергели являются основными хранилищами остатков водной фауны. Табличная классификация отложений выглядит следующим образом:—

Классификация отложений.

Механический



Подводный
осадок, наносимый
водой.

Конгломерат,
песчаник и сланец.

*Субаэриальный или
эоловый
слой, нанесенный
ветром.*

Песчаник и лесс.

Ледниковый
, отложенный льдом.

тиль и тиллий.

Речно-ледниковые
отложения
ледниковой воды.

Пески и гравий.

Химический



Известковый туф

Осаждается в
родниках и реках.

Оолитовый известняк

Откадывается в
устьях рек между
приливом и отливом.

Органический



Образуется из
растительных
остатков.

Торф и угли.

Образован из
останков животных.

Известняки и
мергели.

При благоприятных условиях ветры способны переносить как пыль, так и песок, но не более крупные обломки горных пород. Отложения пыли скапливаются за пределами границ пустынь в виде так называемого *лесса* (рис. 216), хотя песок никогда не выносятся за границу пустыни, вблизи которой он скапливается в широких поясах хребтов, называемых дюнами. Когда этот песок сцементировался в связную массу, он стал известен как эоловый песчаник. Раздел приложения (В) посвящен общему описанию некоторых наиболее распространенных типов горных пород.

Различные отложения океана, озера и реки.—Подводные отложения бывают трех различных типов: (1) образующиеся в результате осаждения в реках, *речные* отложения; (2) образующиеся в результате осаждения в озерах, *озерные* отложения; и (3) образующиеся в результате осаждения в океане, *морские* отложения. Опять же, самый широкий спектр характеристик демонстрируют отложения, которые залегают в разных частях русла ручья. Вблизи истока реки может быть обнаружен крупный речной гравий; в среднем течении - более мелкий ил; а в устье или районе дельты, где отложения впадают в море или озеро, встречается широкий ассортимент илов и глин. За исключением района дельты, где площадь отложений начинает расширяться, речные отложения вытянуты в длинные и относительно узкие зоны и поэтому отличаются от гораздо более важных озерных и морских отложений.

Озера и океаны имеют то общее, что оба являются стоячими телами в отличие от текущей воды; и оба подвержены периодическим ритмическим движениям и береговым течениям из-за волн, поднимаемых ветром. Таким образом, отложения озер и океанов на их окраинах в значительной степени вырываются волнами с соседней суши. Их распределение всегда таково, что самые грубые материалы откладываются ближе всего к берегу, а по мере углубления отложения становятся все более мелкими. Относительно далеко от берега можно найти мельчайшие пески и илы или известковые отложения, в то время как вблизи берега находятся пески и, наконец, вдоль пляжа - гряды из пляжной гальки. При сцементировании в когерентные породы эти отложения превращаются в сланцы или известняки, песчаники и конгломераты соответственно.

Что касается известняков, то их происхождение сопряжено со значительной неопределенностью. Некоторые из них, такие как ракушечный известняк или ракушечник побережья Флориды, представляют собой скопление остатков моллюсков, которые обитают у границы моря. Другие известняки осаждаются непосредственно из карбоната извести в растворе в воде. Отложения такого рода образуются в южной Флориде как в виде хлопьевидной известковой грязи, так и в виде кристаллов карбоната извести на поверхности известняка. Опять же, есть рифовый известняк, который состоит из каменистых частей коралловых организмов, и, наконец, известковый ил глубоководных отложений.

Морские отложения, происходящие с континентов, так называемые *терригенные* отложения, встречаются только на континентальном шельфе и на континентальном склоне сразу за его пределами. Из этих терригенных отложений принято различать: (1) *прибрежные* или *прибрежные* отложения, которые залегают между уровнями прилива и отлива; (2) *мелководные* отложения, которые находятся между отметкой отлива и краем континентального шельфа; и (3) *актианские* или *шельфовые* отложения, которые находятся

на континентальном склоне. Прибрежные отложения и мелководье состоят в основном из гравия и песков, в то время как морские отложения представляют собой в основном илы или известковые отложения.

Особые обозначения прибрежных отложений.—Следы от ряби часто остаются на песке пляжа и могут сохраняться в песчанике, который образуется в результате цементации таких отложений (рис. 11 А). Однако очень похожие отметины весьма характерны для поверхности песка, нанесенного ветром. По той причине, что отложения подвержены многим превратностям в своей последующей истории, так что иногда они стоят под крутыми углами или даже опрокидываются, важно наблюдать за изгибами песчаной ряби, чтобы отличать верхнюю поверхность от нижней.

В более мелком песке и иле защищенных приливных равнин могут сохраниться отпечатки дождевых капель или лап животных, которые бродили по равнине во время отлива. Во время прилива на поверхность укладывается новый материал и заполняются оттиски, но, несмотря на то, что камень затвердел, на этих поверхностях камень легко раскалывается, и поэтому оттиски сохраняются. В песчаниках долины Коннектикута сохранились весьма примечательные следы животных, принадлежащих к вымершим видам, которых в то время, когда были заложены эти отложения, должно было быть в изобилии на соседних берегах.

Между приливами грязь может высыхать и растрескиваться по пересекающимся линиям, подобным стенкам пчелиных сот, и когда трещины заполняются во время прилива, образуется структура, которую позже можно распознать, и ее обычно называют структурой “грязевая трещина”. Эта структура имеет особое значение для отличия морских отложений от субаэриальных или континентальных отложений.

Изменение направления ветров во время последовательных штормов может быть причиной нагромождения пляжного песка в виде своеобразной структуры “погружения и течения” или “поперечного слоя”, структуры, которая чрезвычайно распространена в прибрежных отложениях, хотя и имитируется породами эолового происхождения.

Порядок отложения во время трансгрессии моря.—Многие береговые линии континентов почти постоянно перемещаются либо к суше, либо к морю. Когда береговая линия надвигается на сушу, побережье опускается, и морские отложения образуются непосредственно над тем, что недавно было “сушей”. Такое вторжение моря на сушу из-за оседания побережья называется морской трансгрессией, или просто *трансгрессией*. Хотя в любой момент прибрежные, мелководные и шельфовые отложения закладываются каждое в определенной зоне, очевидно, что каждое из них должно по очереди продвигаться в направлении берега и, таким образом, откладываться над зонами, расположенными ближе к берегу. Таким образом, получается определенный ряд непрерывных слоев, расположенных один над другим, при условии только, что процесс продолжается (рис. 18). В самом низу этого ряда обычно находится тонкий слой пляжной гальки, который позже затвердевает в так называемый *базальный конгломерат*. Если размер камешков таков, что их можно идентифицировать, то обычно обнаруживается, что они представляют собой обломки скалы, по которой море наступало на сушу.



Рис. 18. Диаграмма, показывающая порядок отложений, отложенных во время трансгрессии моря.

Следующими по порядку после базального конгломерата будут более крупные, а затем и более мелкие пески, на которые, в свою очередь, лягут морские отложения — илы и известковые отложения. Позже, когда они сцементируются вместе, они становятся по порядку более грубыми и мелкими песчаниками, сланцами и известняками. Порядок наложения, читаемый снизу вверх, таким образом, дает порядок уменьшения возраста образований.

Последующее поднятие побережья будет сопровождаться спадом уровня моря, и когда позже природа расчленит его для нашего осмотра, порядок наложения и индивидуальный характер каждого из отложений можно будет изучить на досуге. В результате таких исследований было обнаружено, что наряду с неорганическими отложениями часто обнаруживаются остатки жизни в твердых частях таких беспозвоночных животных, как моллюски и ракообразные. Эти так называемые *окаменелости* представляют животных, которые постепенно развивались от более простых форм ко все более и более сложным; и, таким образом, они служат цели последовательных нумераций страниц для упорядочивания нарушенных слоев, в то же время они обеспечивают наиболее надежную основу, на которой покоится великая доктрина эволюции.

Бассейны более ранних эпох. Великий венский геолог профессор Зюсс первым указал на то, что в горных регионах обнаружены самые толстые и наиболее полные серии морских отложений; в то время как за пределами этих провинций формации разделены широкими промежутками, представляющими периоды, когда отложений не было, потому что море покинуло регион. Полнота серии отложений в горных районах может быть истолкована только как означающая, что там, где сегодня возвышаются эти, но недавно сформировавшиеся горы, в течение долгих предшествующих эпох были бассейны для отложения терригенных отложений. Казалось бы, литосфера при своей корректировке выбрала эти более ранние морские бассейны с их тяжелыми слоями осадочных пород для зон особого поднятия.

Отложения морских глубин.— За пределами континентального склона, основание которого отмечает границу терригенных отложений, лежит более глубокое море, по большей части представляющее собой серию широких равнин, но разнообразящихся более глубокими бассейнами с крутыми стенками, так называемыми “глубинами” океана. Как показали дноуглубительные работы экспедиции “Челленджер” и других более поздних работ, отложения на дне океана имеют совершенно иной характер, чем те, которые происходят с континентов. За исключением больших глубин или между глубинами от пятисот до полутора тысяч морских саженей, эти отложения представляют собой так называемый “ил”, состоящий из известковых или хитиновых частей водорослей и мельчайших животных организмов. Пелагические, или поверхностные, воды океана представляют собой, так сказать, огромный луг этих растительных форм, на котором бесчисленными мириадами питаются мельчайшие ракообразные, такие как глобигерина, фораминифера и птероподы. Твердые части как растительных, так и животных организмов опускаются на дно и там образуют ил, в котором иногда находят ушные кости китов и зубы акул.

В глубинах океана не откладывается ни одно из этих отложений растений или животных, а только так называемая “красная глина”, которая, как полагают, представляет собой разложившийся вулканический материал, нанесенный ветрами в виде мелкой пыли на поверхность океана, или продукт подводного извержения вулкана. Отсутствие ила на этих

огромных глубинах вынуждает нас сделать вывод, что твердые части мельчайших организмов растворяются при погружении на глубину трех-четырех миль в океанскую воду.

Список литературы для чтения к главе IV

Дж. С. Диллер. Учебная серия образцов горных пород, собранных и распространяемых Геологической службой США, Bull. 150 U. S. Geol. Обзор, 1898, с. 1-400.

Л. В. Пирссон. Горные породы и минералы. Уайли, Нью-Йорк, 1908.

Сэр Джон Мюррей. Глубоководные отложения, доклады *Челленджер* экспедиции, Глава III.

Л. В. Коллет. Les dépôts marins. Doin, Paris, 1907 (Encyclopédie Scientifique).

ГЛАВА V

ИСКАЖЕНИЯ СЛОЕВ В ЗОНЕ ТЕЧЕНИЯ

Зоны разрушения и течения.— Легко представить себе атмосферу и гидросферу как то, что каждое из них в какой-то момент выдерживает нагрузку сверхплотного материала. На уровне моря вес воздуха на каждый квадратный дюйм поверхности составляет около пятнадцати фунтов, тогда как на дне гидросферы, в более глубоких слоях, нагрузка на квадратный дюйм должна измеряться тоннами. Вблизи поверхности литосферы горные породы за счет своей прочности выдерживают нагрузку породы над ними, но на больших глубинах они не в состоянии этого сделать, поскольку нагрузка воздействует на каждый участок породы с давлением, эквивалентным весу каменного столба, который простирается вверх, к поверхности. Средний удельный вес породы составляет 2,7, и, таким образом, легко рассчитать длину колонны квадратного дюйма, вес которой эквивалентен прочности на раздавливание любой данной породы. На глубине, представленной длиной такого столба, горные породы не могут поддаваться давлению в результате разрушения, поскольку открытие трещины подразумевает, что порода с обеих сторон достаточно прочна, чтобы предотвратить смыкание стенок. Следовательно, на этой глубине порода должна поддаваться давлению не за счет разрушения, как это было бы на поверхности, а за счет течения по типу жидкости; и поэтому зона ниже этого критического уровня называется *зоной течения*.

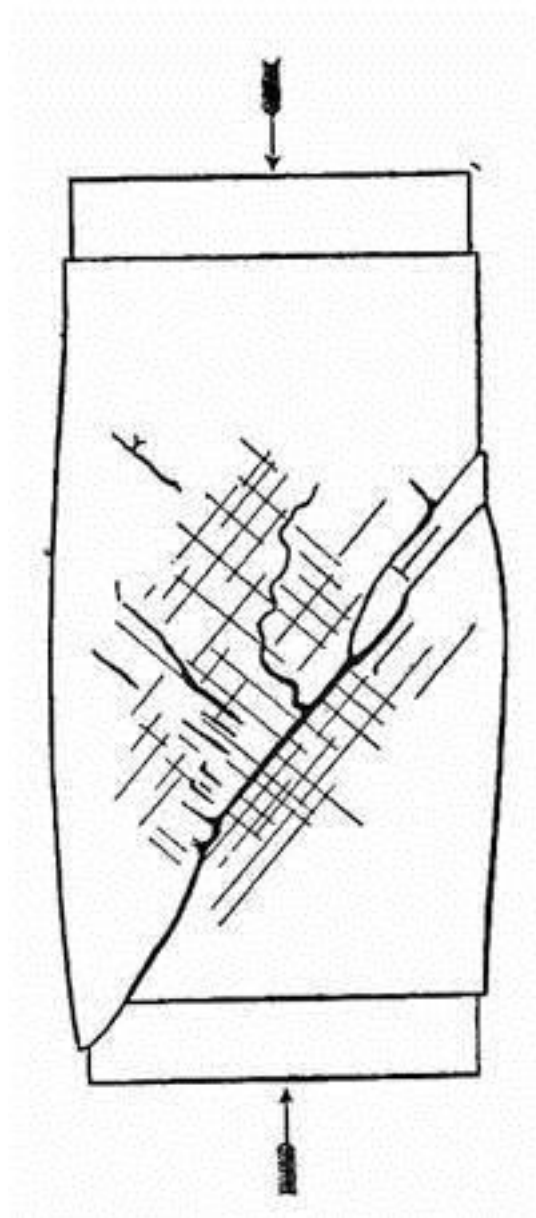


Рис. 19. Две пересекающиеся параллельные серии трещин, образовавшихся на каждой свободной поверхности призматического блока из жесткого формовочного воска при разрушении сжатием с торцов (после Добре и Трески).

Напротив, приповерхностная зона называется *зоной разрушения*. Но разные породы обладают разной прочностью, и она может изменяться в зависимости от других условий, таких, например, как близость неохлажденной магмы. Следовательно, зона течения соединяется с зоной разрушения не на определенной поверхности, а в промежуточной зоне, описываемой как *зона разрушения и течения*.

Эксперименты, иллюстрирующие разрушение и течение твердых тел.— Призматический блок, изготовленный из твердого формовочного воска, при раздавливании между губками испытательной машины образует систему пересекающихся трещин, которые расположены перпендикулярно свободным поверхностям блока и имеют два направления, каждое из которых наклонено на половину прямого угла к направлению сжатия (рис. 19). Этот эксперимент может проиллюстрировать, каким образом образуются трещины в результате сжатия в зоне разлома литосферы, поскольку ее ядро продолжает сжиматься.

Чтобы воспроизвести условия в зоне течения, необходимо будет нагрузить боковые поверхности блока вместо того, чтобы оставлять их свободными, как в вышеописанном эксперименте. Эксперимент лучше всего провести, как показано на [рис. 20](#). Здесь из пчелиного воска в качестве основы готовят серию слоев, имеющих различную степень жесткости, которые либо укрепляются примесью парижской штукатурки в различных пропорциях, либо ослабляются использованием венецианского скипидара. Такая серия слоев может представлять породы столь же сильно отличающегося характера, как известняк и сланец. Нагрузка, которая должна представлять собой вмещающую породу, в эксперименте подается глубоким слоем дробы.

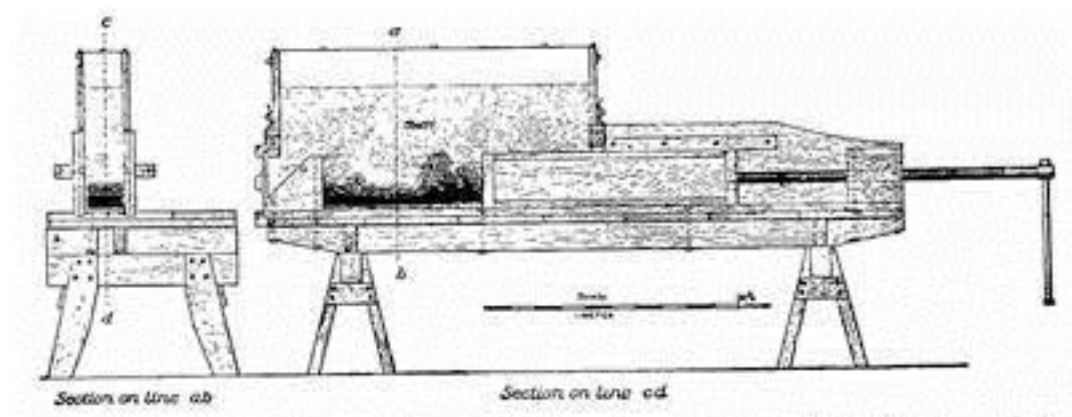


Рис. 20. Устройство для иллюстрации складчатости слоев в зоне течения (после Уиллиса).

Когда к слоям прикладывается сжатие с торцов, эти обычно твердые материалы вместо разрушения сгибаются в серию складок. Более жесткие, или более прочные, слои оказываются менее деформированными, чем более слабые слои, особенно если последние были защищены под сводом более прочного слоя (рис. 2а).

Своды и впадины складчатых слоев.— Каждая серия складок состоит из чередующихся арок и впадин. Своды пластов геолог называет *антиклиналями* или *антиклинальными складками*, а впадины - *синклиналями* или *синклинальными складками* ([рис. 21](#)). Когда пласт просто опускается при изгибе на более низкий уровень без образования полной арки или полного желоба, этот половинный сгиб называется *моноклиалью*.

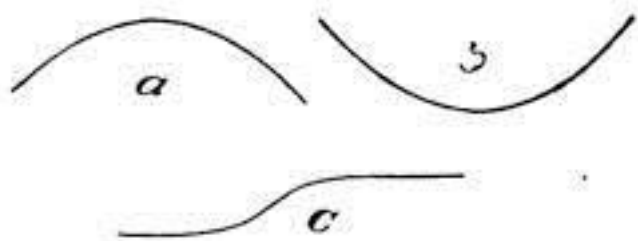


Рис. 21. Диаграммы, представляющие *a*, антиклиналь; *b*, синклиналь; и *c*, моноклиаль.

Любое изгибание слоев подразумевает уменьшение площади их поверхности или, если рассматривать отдельный участок, укорочение. Если арки и впадины низкие и широкие, деформация слоев незначительна, укорочение сравнительно невелико, и складки описываются как *открытые* ([рис. 22 б](#)). Если они относительно высокие и узкие, деформация значительная, произошло большее укорочение земной коры, и складки описываются как *плотные* ([рис. 22 c](#)). Это смыкание складок может продолжаться до тех

пор, пока их стороны не будут иметь практически одинаковый наклон, и в этом случае они называются *изоклинальными* (рис. 22 *d*).

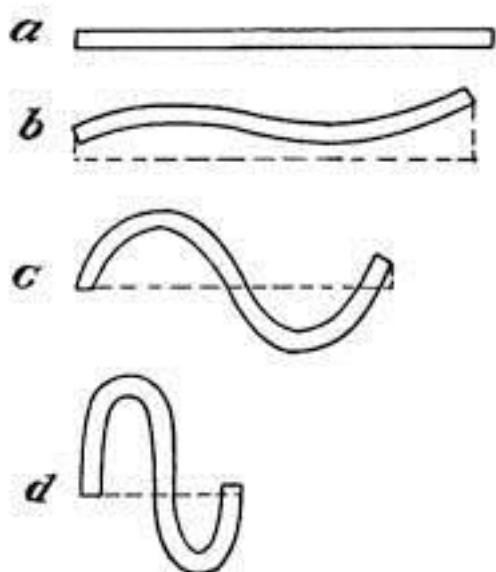


Рис. 22. Сравнение складок для выражения возрастающих степеней укорочения или прогрессирующей деформации земной коры в зоне течения: *a*, слой перед складыванием; *b*, открытые складки; *c*, сомкнутые складки; *d*, изоклинальные складки.

Элементы складок.—Складки всегда следует рассматривать как протяженные в каждом из трех измерений пространства (рис. 23), а не как должным образом включенные в единую плоскость, как поперечные сечения, которые мы так часто используем на иллюстрациях. Складку можно представить как разделенную на равные части плоскостью, которая проходит по середине либо арки, либо желоба и называется *осевой плоскостью*. Линия, по которой эта плоскость пересекает арку или впадину, является *осью*, которую можно назвать *линией вершины* в антиклинали и *линией впадины* в синклинали.

В случае многих открытых складок ось практически горизонтальна, но в регионах с более сложной складкой это редко бывает правдой. Отклонение оси от горизонтали называется *шагом*, а складки такого типа описываются как *складки тангажа* или *углубляющиеся складки*. На самом деле в этих случаях ось имеет ряд изгибов или “продольных складок”, и, следовательно, угол наклона будет меняться вдоль оси.

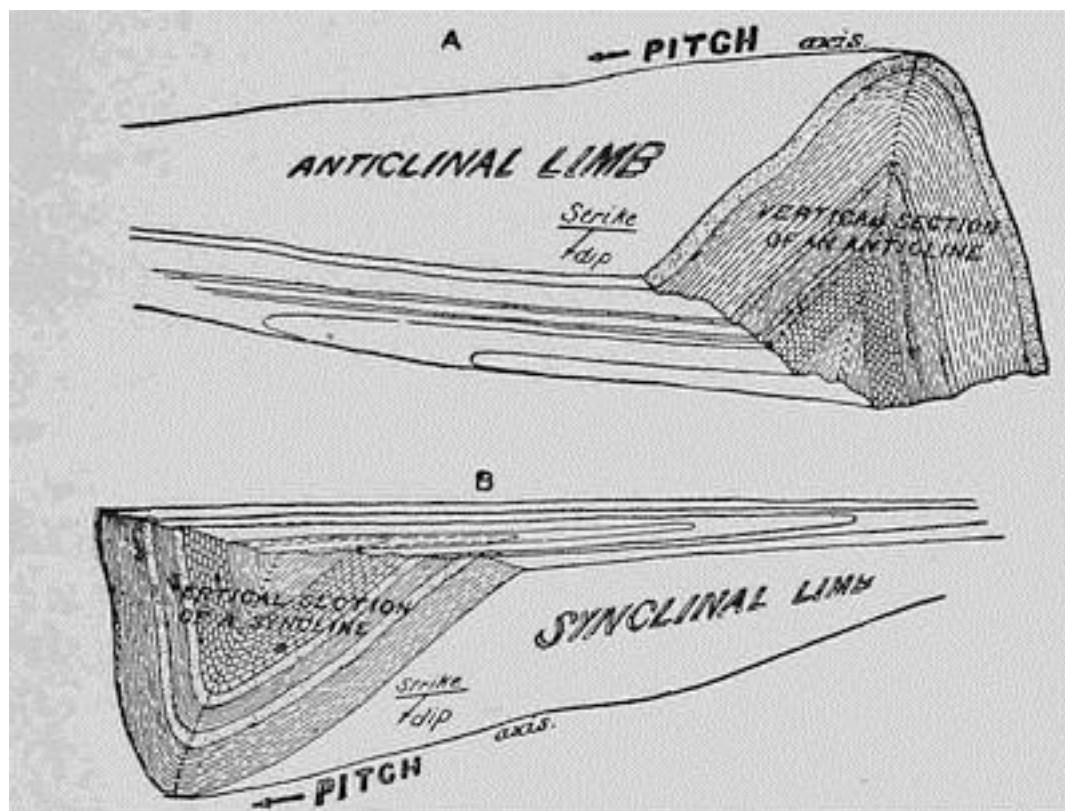


Рис. 23.Антиклинальные и синклиналиные складки в слоях (после Уиллиса).

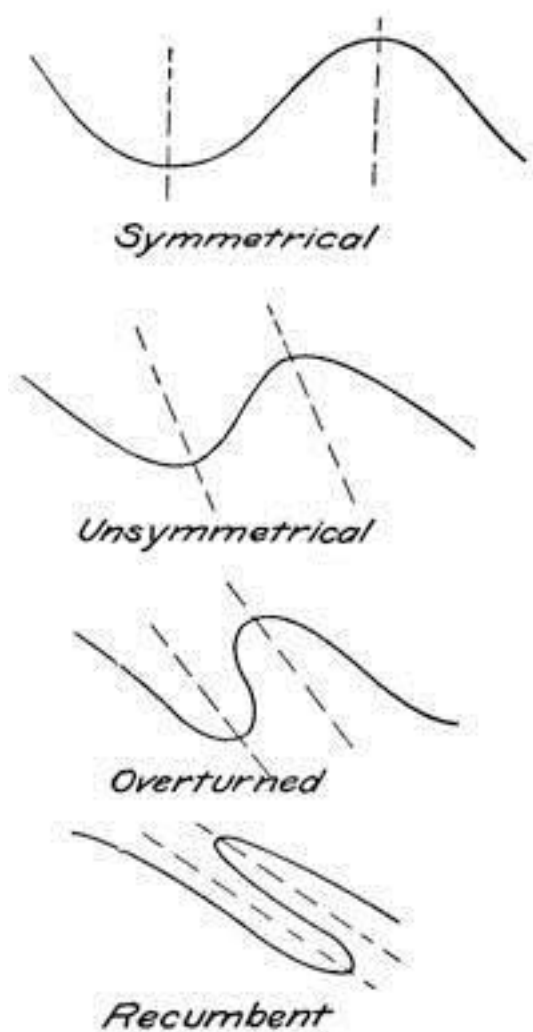


Рис. 24. Диаграммы, иллюстрирующие различные формы складок горных пород.

Очертания скальных складок.—Осевой плоскостью каждая складка разделена на две части, которые называются ее *конечностями*, которые могут иметь либо одинаковый, либо разный средний наклон. Чтобы описать теперь формы скальных складок, а не степень сжатия местности, необходимы некоторые дополнительные термины. Антиклинали или синклинали, конечности которых имеют примерно одинаковый наклон, известны как *вертикальные* или *симметричные складки*. Осовая плоскость симметричной складки вертикальна (рис. 24). Если эта плоскость наклонена к вертикали, то складки *несимметричны*. Как только более крутая из двух конечностей переходит в вертикальное положение и наклоняется в том же направлении, что и более плоская конечность, говорят, что складка *перевернута*. Отклонение от симметрии может заходить так далеко, что осовая плоскость складки лежит под очень плоским углом, и тогда складка называется *лежачей*. Наблюдательный путешественник, путешествующий на поезде по любому из маршрутов, ведущих в Альпы, может из окна своего автомобиля увидеть иллюстрации большинства из этих типов скальных складок, как он также может, хотя, как правило, менее легко, проезжая через Аппалачи.

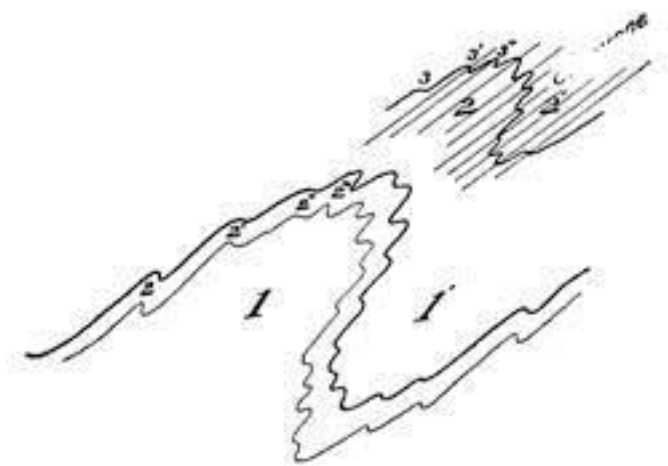
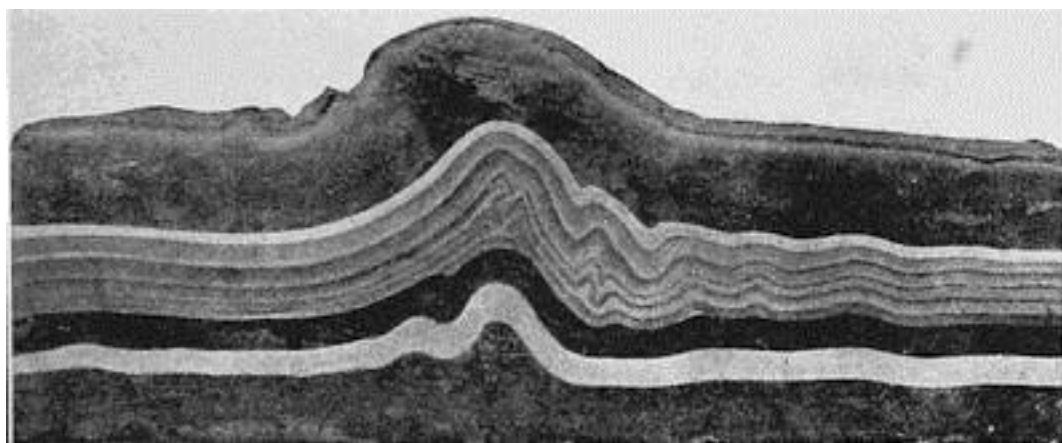


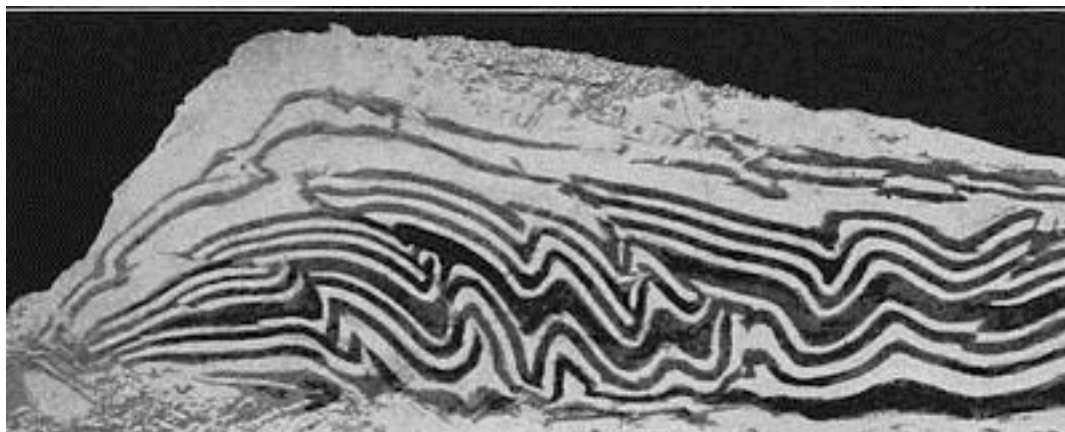
Рис. 25. Вторичные и третичные изгибы, наложенные на первичные.

В регионах, которые были плотно сложены, могут быть обнаружены более крупные изгибы слоев с наложенными на них складками меньшего порядка величины, а они, в свою очередь, могут демонстрировать смятость еще более низких порядков. Было обнаружено, что складки меньших порядков величины имеют форму более крупных изгибов, и поэтому из их тщательного изучения можно многому научиться (рис. 25). Также довольно часто обнаруживается, что параллельные плоскости готового разреза, которые описываются как *расщелина горной породы*, проходят параллельно осевой плоскости в пределах каждой малой складки. Как давным-давно показали британские геологи-первопроходцы, эти плоскости расщепления по существу параллельны и повторяют оси складок на больших площадях.

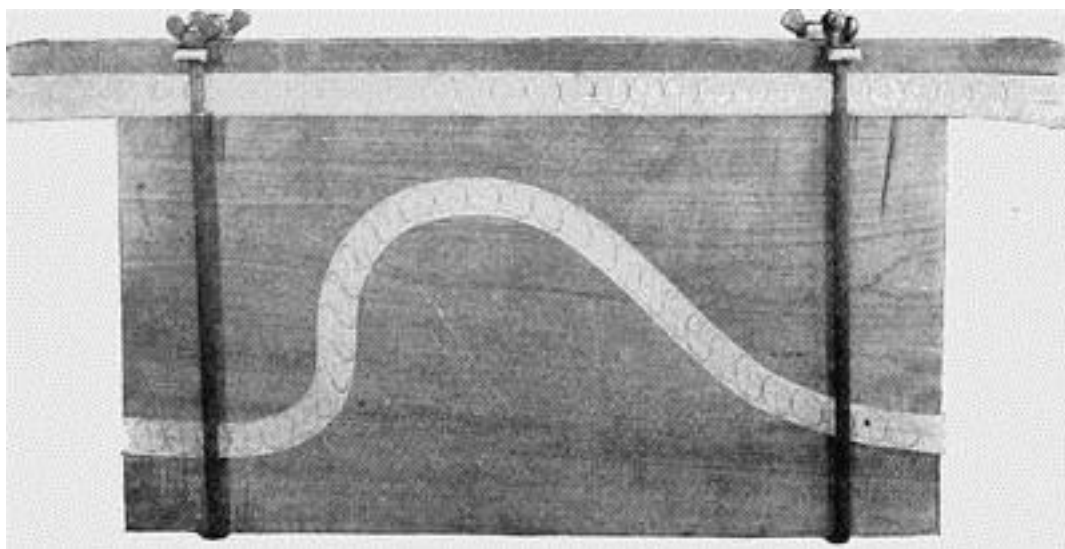
Рисунок 2.



А. Слои, спрессованные в экспериментах и показывающие эффект грамотного слоя в процессе складывания (по Уиллису).



Б. Экспериментальное выполнение серии параллельных надавливаний в плотно сложенных слоях (по Уиллису).



С. Устройство для иллюстрации действия сдвига в перевернутом конце сгиба.

Складка переворота.—Всякий раз, когда слой изгибается, существует тенденция к разделению его частиц на выпуклой стороне изгиба, в то время как частицы на вогнутой стороне сгибаются ближе друг к другу — в первом случае происходит растяжение, а во втором - сжатие (рис. 26). Внутри несимметричной или перевернутой складки специфические искажения в различных участках слоя менее просты и лучше всего проиллюстрированы на рис. 2 С. Этот прибор показывает две одинаковые стопки бумажных листов, по краям каждого из которых нарисован ряд кругов. Когда теперь одна из стопок согнута в несимметричную складку, видно, что из-за совмещения бумажных листов, скользящих друг по другу, произошли большие искажения окружностей. На том более крутом выступе, который при более плотном сгибании будет опрокинут, круги вытянуты в длинные и узкие эллипсы, и это указывает на то, что те частицы породы, которые до сгиба входили в круг, были перемещены друг мимо друга на манер лезвий пары ножниц. Такое экстремальное действие “сдвига”, таким образом, локализовано в загнутом конце складки, и при продолжении сжатия должно наступить время, когда складка разорвется в этом критическом месте вдоль плоскости, параллельной самой длинной оси эллипсов или почти параллельной осевой плоскости антиклинали. Такие структуры, вероятно, возникают в зоне комбинированного разрушения и течения, в которую вытесняются пласты в случаях близкого

сжатия. Таким образом, на этой плоскости разлома обнаруживается рельеф, верхняя часть складки теперь будет проходить над нижней, и смещение описывается как *толчок* или *опрокидывание*.

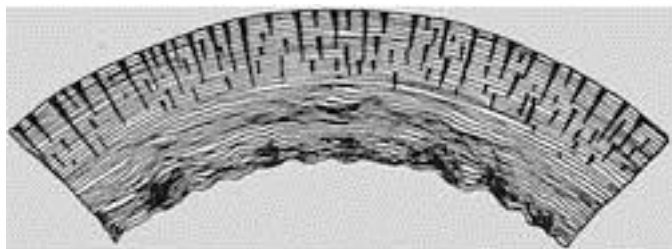


Рис. 26. Изогнутый слой, иллюстрирующий растяжение на выпуклой стороне и сжатие на вогнутой стороне (по Ван Хайзу).

В длинной серии экспериментов, проведенных мистером Бейли Уиллисом из Геологической службы США, были воспроизведены все стадии между опрокинутой складкой и надвигающейся складкой. Там, где серия складок была плотно сжата, развивалась параллельная серия надавливаний (рис. 2b), так что серия срезов, пересекающих соседние слои, скользила последовательно, один над другим, подобно чешуе на рыбе или черепице на крыше. Весьма примечательные структуры такого рода были обнаружены в горных породах таких тесно сложенных районов, как Северо-Западное нагорье Шотландии, где протяженность измеряется милями. Вблизи плоскостей надавливания на камнях наблюдается дробление зерен, а сами плоскости иногда рифленые и отполированные движением.

Восстановление поврежденных складок.— Поскольку изгибание горных пород происходит в зоне течения на расстоянии нескольких миль ниже поверхности земли, совершенно очевидно, что результаты процесса могут быть изучены только после удаления нескольких тысяч футов надземных слоев. Чуть позже мы увидим, с помощью каких процессов достигается это опускание поверхности, но пока, возможно, будет достаточно принять этот факт, понимая, что прежде чем складки в пластах смогут достичь поверхности, они должны пройти через верхнюю зону разлома.

Возможно, можно было бы предположить, что антиклинали будут выглядеть как горы на поверхности, и иногда это действительно так; как, например, в складчатых горах Юры в Западной Европе. В более общем плане горы имеют синклиналь-ную структуру, а долины - антиклиналь-ную; но поскольку никакое общее правило не может быть применено, необходимо восстановить усеченные складки в каждом районе, прежде чем можно будет узнать их характер.

Геологическая карта и разрез.— Поверхность земли в большинстве регионов в значительной степени покрыта почвой или другим несвязным горным материалом, так что на значительных площадях твердые породы скрыты от глаз. Каждая местность, в которой порода обнаруживается на поверхности земли “на месте”, описывается как *обнажение* или *обнажение*. При изучении региона каждое такое обнажение должно быть исследовано для определения природы породы, особенно с целью корреляции с соседними обнажениями, и, кроме того, как вероятного направления, в котором оно продолжается вдоль поверхности — *простирая*, так и наклона его пластов — *провала*. Если обнажения достаточно многочисленны и можно определить тип породы, простираение и углубление, складки местности могут быть восстановлены почти с такой же точностью, как если бы их изгибы были повсюду открыты для обозрения. Поперечный разрез поверхности, который

представляет наблюдаемые обнажения с их наклонами и предполагаемые промежуточные слои в их вероятном положении, описывается как *геологический разрез* (рис. 27). Карта, на которую данные введены в их правильном расположении, с допущениями относительно покрываемых территорий или без них, называется *геологической картой*.

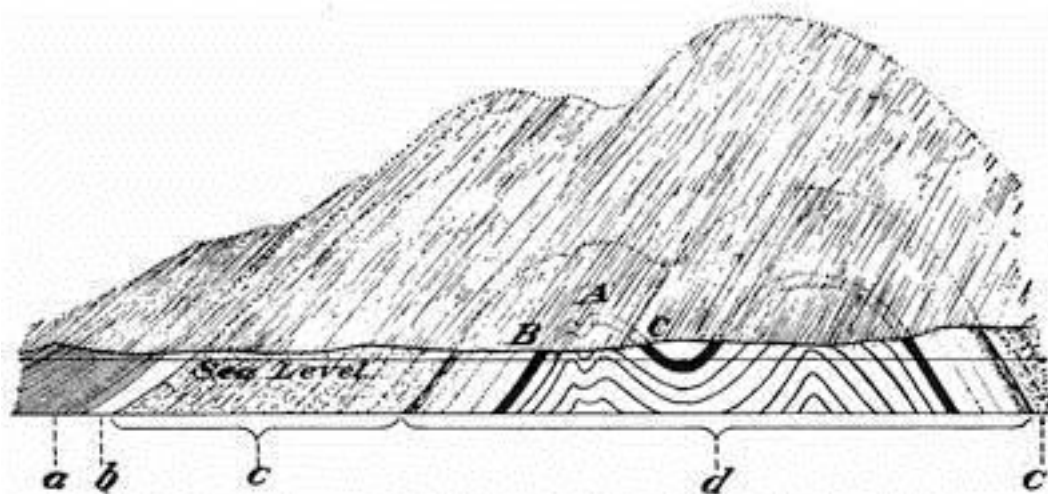


Рис. 27. Геологический разрез, основанный на наблюдениях на обнажениях, но с восстановленными усеченными сводами.

Если оси складок абсолютно горизонтальны, а поверхность земли представлена в виде равнины, линии пересечения усеченных слоев с землей или с любой горизонтальной поверхностью дадут направления продолжения отдельных слоев. Это направление удара обычно определяется при каждом воздействии с помощью компаса, снабженного спиртовым нивелиром. Когда тот край выровненного компаса, который параллелен линии север-юг на циферблате, прижимается к наклонному слою породы, угол наклона измеряется стрелкой компаса в градусах. Если стороны света расположены на циферблате компаса правильно, стрелка будет указывать на северо-запад, когда стрелка направлена на северо-восток, и *наоборот* (рис. 28 а). Поэтому на компасе геолога принято менять местами инициалы, обозначающие восточное и западное направления, чтобы правильный ход можно было прочесть непосредственно на циферблате (рис. 28 б).

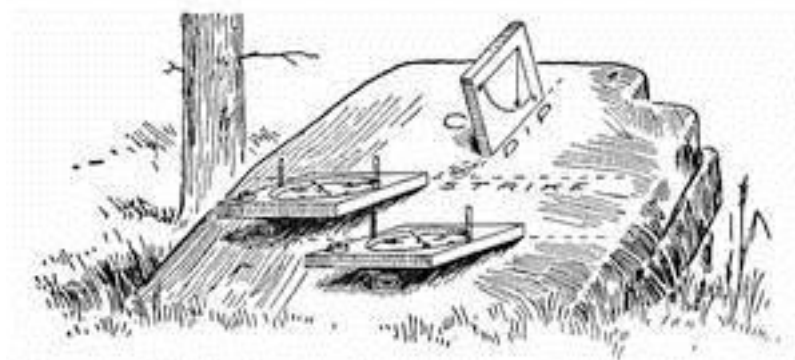


Рис. 28. Схема, иллюстрирующая способ определения простирания пластов горных пород на обнажении. а, компас, у которого стороны света расположены в их естественном положении; б, компас с перевернутыми инициалами востока и запада на циферблате; с, самодельный клинометр для определения падения.

Под падением понимается наклон пласта при любом воздействии, и это, очевидно, должно измеряться в вертикальной плоскости вдоль самой крутой линии в плоскости залегания. Угол

наклона всегда соотносится с горизонтальной плоскостью, и, следовательно, вертикальные грядки имеют наклон 90° . Устройство для измерения этого угла наклона, *клинометр*, представляет собой всего лишь простой маятник, который служит индикатором и центрируется в углу градуированного квадранта. Самодельный компас легко изготовить из квадратного куска доски и прикрепленного к нему бумажного квадранта (рис. 28 с), но компас геолога всегда снабжен клинометром, прикрепленным к циферблату.

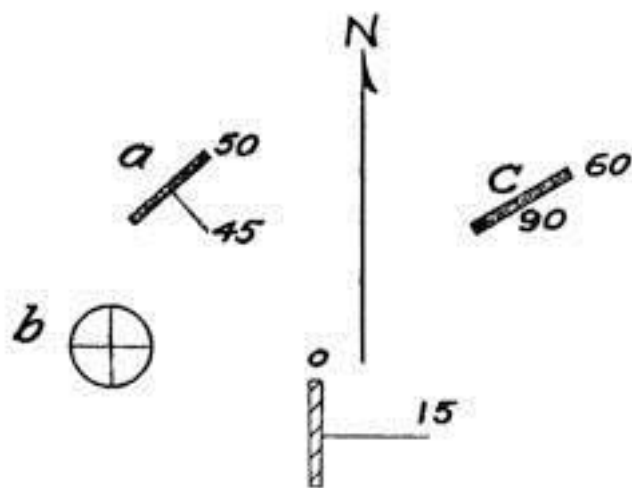


Рис. 29. Схема, показывающая использование символов Т для обозначения падения и простирания обнажений.

Поскольку простирание - это пересечение плоскости подстилки с горизонтальной поверхностью, а провал - это пересечение с той конкретной вертикальной плоскостью, которая дает наибольший наклон, простирание и провал перпендикулярны друг другу. Для их обозначения на картах более или менее принято использовать так называемые Т-образные символы, вершина которых указывает направление удара, а хвостовик - направление падения. Если на карте нанесены меридианы, направление или положение точки Т можно определить с помощью простого транспортира; и при нанесении на карту точный угол удара может быть задан цифрой около вершины точки Т, а угол падения - цифрой на конце стержня. Также принято делать длину хвостовика обратно пропорциональной крутизне углубления, чтобы в общих чертах можно было сразу оценить расположение слоев (рис. 29). Кроме того, полезно сделать верхнюю часть буквы "Т" двойной линией, чтобы какой-нибудь символ или цвет мог показывать корреляцию различных экспозиций. Чтобы проиллюстрировать это, на рис. 29 символ, обозначенный *a*, представляет собой обнажение известняка, простирание которого находится на 50° восточнее северной широты (50° северной широты), а падение - на 45° юго-восточнее. На том же рисунке *b* изображено обнажение сланца в горизонтальных слоях, которые, как следствие, имеют универсальное простирание и наклон 0° . Обнажение известняка в вертикальных пластах, простирающихся до 60° северной широты, показано при 15° т.д.

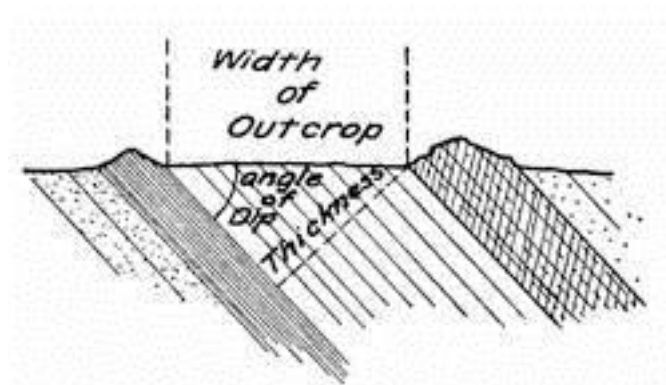


Рис. 30. Диаграмма, показывающая, как можно определить толщину пласта по углу падения и ширине обнажений.

Измерение толщины пластов.—Когда пласты все еще залегают в горизонтальных пластах, мы иногда можем узнать их толщину непосредственно либо по глубине бурения в подстилающей породе, либо путем измерений на крутых стенах каньона. Если пласты стоят вертикально, то дело чрезвычайно просто, поскольку в этом случае толщина представляет собой ширину выступов пласта между пластами, которые ограничивают его с обеих сторон. В общем случае, когда слои не являются ни горизонтальными, ни вертикальными, толщину необходимо определять косвенно, исходя из ширины выступов и угла погружения. Коэффициент, на который необходимо умножить ширину экспозиции, известен как синус угла падения (рис. 30), который с достаточной точностью для большинства целей приведен в следующей таблице. Очевидно, что для получения полной толщины пласта необходимо измерить расстояние от контакта с соседним пластом с одной стороны до аналогичного контакта с ближайшим пластом с другой.

Естественные Синусы

0°	.00	35°	.57	70°	.94
5°	.09	40°	.64	75°	.97
10°	.17	45°	.71	80°	.98
15°	.26	50°	.77	85°	1.00
20°	.34	55°	.82	90°	1.00
25°	.42	60°	.87		
30°	.50	65°	.91		

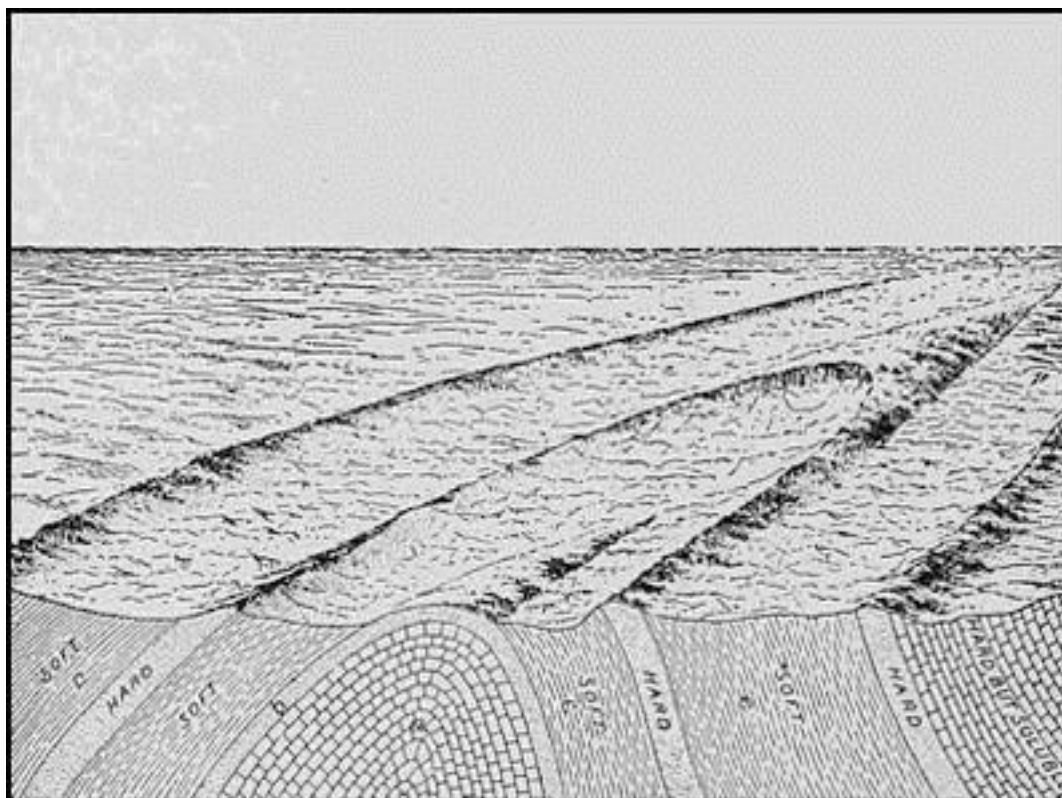


Рис. 31.Объединенные виды поверхности и сечения погружающейся антиклинали (после Уиллиса).

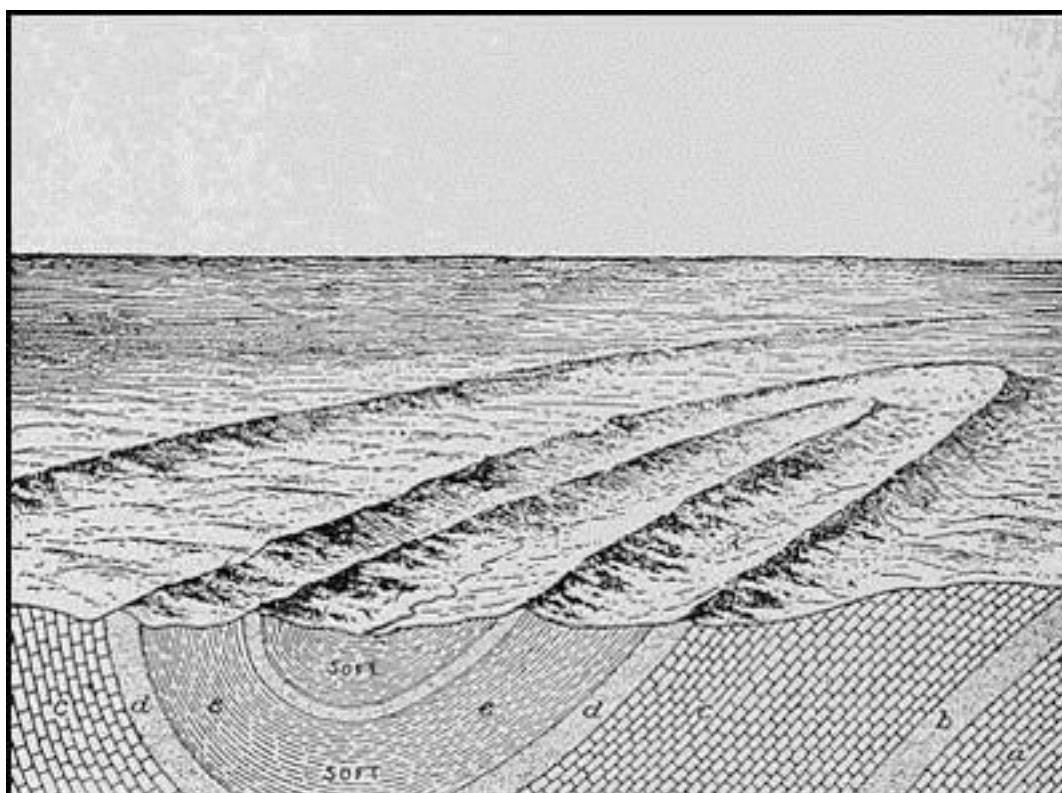


Рис. 32.Объединенные виды поверхности и сечения погружающейся синклинии (после Уиллиса).

Обнаружение глубоких складок.—Когда ось складки горизонтальна, ее обнажения на равнине будут продолжать иметь тот же простирание до тех пор, пока образование не подойдет к концу. Таким образом, на обычно ровной поверхности любое регулярное поступательное изменение направления удара является признаком того, что складки имеют характер погружения или качки. Было допущено много серьезных ошибок в интерпретации из-за неспособности распознать это свидетельство глубоких складок. Способ постепенного изменения забросов будет наглядно показан на диаграммах, приведенных на [рис. 31](#) и [32](#), первая из которых представляет собой антиклиналь качки, а вторая - синклинали качки. В обоих этих взаимных случаях выступы пластов претерпевают одинаковые изменения, и направления погружения служат для различения того, какая из двух структур присутствует в данном случае. Однако есть еще одно отличие, заключающееся в том, что твердые слои погружающейся антиклинали, там, где они исчезают под поверхностью в осе, будут представлять собой куполообразную поверхность, наклоненную вперед, как спина кита, когда он поднимается над поверхностью моря. Таким образом, последовательно углубляющиеся складки будут проявляться в топографии в виде серии резко зигзагообразных хребтов в тех местах, где более твердые слои пересекают поверхность. Такие особенности встречаются в восточной Пенсильвании, где твердые образования горной системы Аппалачи уходят на северо-восток под более поздними образованиями. Угол наклона большей складки часто раскрывается за счет мелких складок, наложенных на нее.

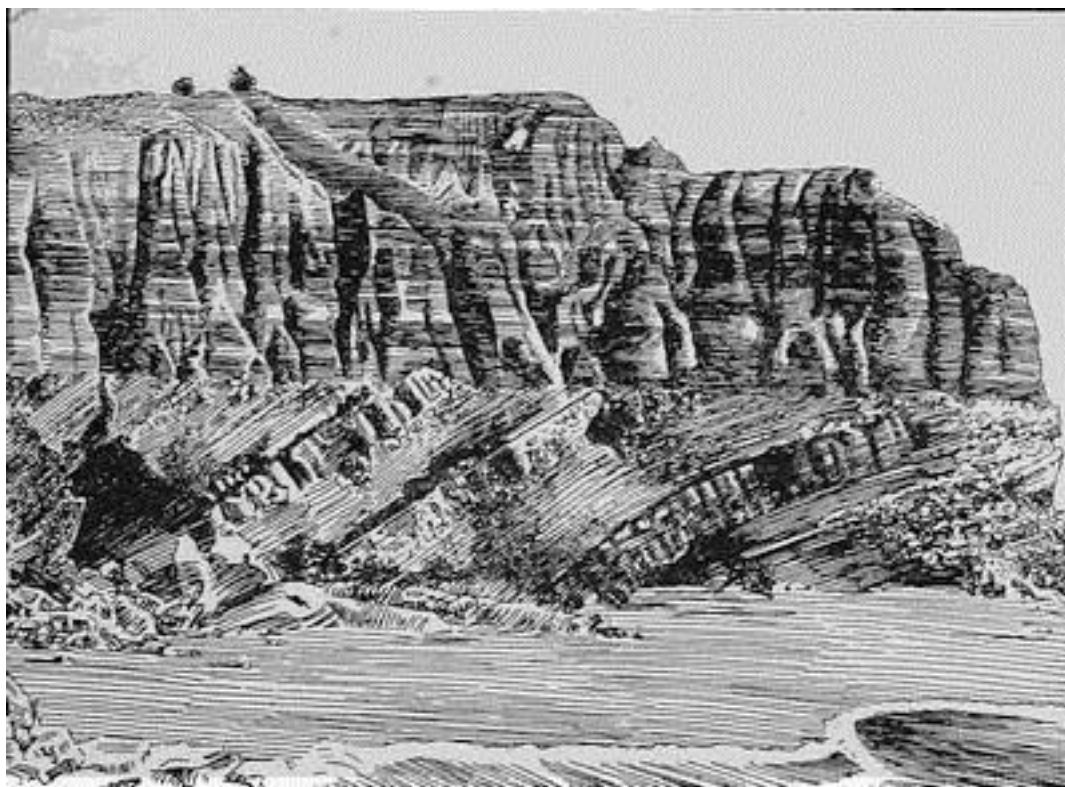


Рис. 33. Несоответствие между нижней и верхней сериями пластов на побережье Калифорнии. Обратите внимание, как рельефно выступает твердый слой на соединительной поверхности (после Фэрбенкса).

Значение несогласия.—Пласты горных пород, которые откладываются один над другим во время трансгрессии моря, обычно параллельны и, таким образом, представляют собой непрерывный процесс отложения. Говорят, что такие кровати *удобны*. С другой стороны, когда две серии отложений, которые не параллельны друг другу, разделены разрывом,

говорят, что они образуют *несогласующиеся* ряды, а разрыв или поверхность соединения является *несогласованностью* (рис. 33).

Здесь очевидно, что отложения, составляющие нижнюю серию слоев, были сложены в зоне течения, хотя верхняя серия, очевидно, избежала этой превратности. Кроме того, поверхность, отделяющая нижний ряд от верхнего, несколько неровная и представляет собой рельефный твердый слой, как если бы он оказывал большее сопротивление атмосферным воздействиям на него.

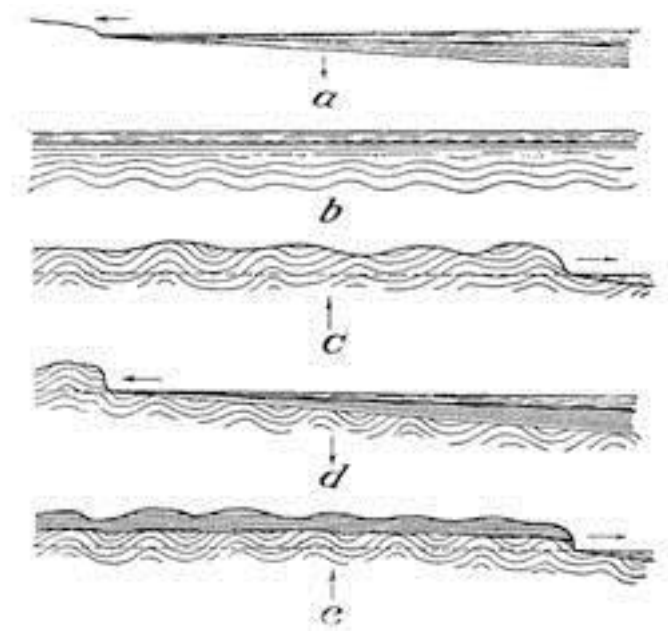


Рис. 34. Серия диаграмм, последовательно иллюстрирующих эпизоды, связанные с историческим развитием углового несоответствия. Вертикальные стрелки указывают направление движения суши, а горизонтальные - направление миграции берегов.

В действительности несоответствие между формациями следует интерпретировать как означающее, что нижняя серия не только старше верхней, как показано порядком наложения, но и что время ее отложения было отделено от времени отложения верхней паузой, во время которой в нижней серии произошли важные изменения. Этапы или эпизоды в истории пластов, представленные на рис. 33, можно прочесть следующим образом (см. Рис. 34 а-е):—

- (а) Отложение нижних слоев во время понижения уровня моря.
- (b) Продолжающееся оседание и погребение нижней серии под вышележащими отложениями и изгиб в зоне течения.
- (с) поднятие объединенных отложений до уровня моря и значительно выше него и удаление за счет эрозии огромных толщ верхних отложений.
- (d) Новое оседание усеченной нижней серии и отложение верхней серии по всей ее эродированной поверхности.
- (е) Новая высота двойной серии до ее нынешнего положения над уровнем моря.

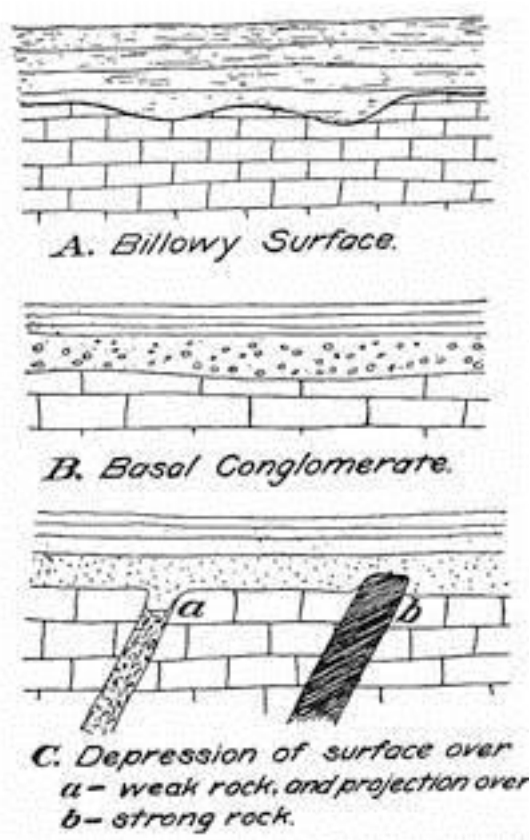


Рис. 35. Типы обманчивых или эрозионных несоответствий.

Из этой последовательности эпизодов видно, что разрыв такого рода между двумя сериями отложений включает в себя двойное колебание оседания, за которым следует подъем — большая впадина, за которой следует большой подъем, меньшее оседание, за которым следует подъем. Временной интервал, который, должно быть, был представлен этими повторяющимися операциями, настолько огромен, что поначалу при созерцании его ум приходит в замешательство. Когда, как в этом случае, уклоны нижнего ряда слоев отличаются от уклонов верхнего, мы имеем дело с *угловым несоответствием*. Возможно, однако, что нижний ряд не был настолько углублен, чтобы войти в зону стока, и что его слои с очевидным соответствием совпадают с слоями верхнего ряда. Такое несоответствие часто чрезвычайно трудно распознать, и его описывают как *обманчивое* или *эрозионное несоответствие*.

При обманчивом несоответствии ключом к его реальной природе обычно является какой-нибудь факт, указывающий на то, что нижняя серия отложений была поднята над уровнем моря до того, как на нее нанеслась верхняя серия. Это может проявляться либо в неровности поверхности, на которой соединяются две серии, либо в некотором свидетельстве воздействия волн, таких, которые могли бы создаваться базальным конгломератом в верхней серии, либо в некотором указании на различную устойчивость различных пород нижней серии к воздействиям на них атмосферы (фиг. 33 и 35 а-в).

По крайней мере, в большинстве случаев самый нижний элемент верхнего ряда будет представлять собой породу, отличную от самого верхнего элемента нижнего ряда, следовательно, частое появление несогласованных поперечных слоев в песчанике не должно вводить в заблуждение даже новичка относительно несоответствия.

Чтение ссылок на главу V

Зоны разрушения и течения:—

К. Р. Ван Хайз. Принципы геологии докембрия Северной Америки, 16-я энт. Rept. Geol. США. Обзор., 1895, Pt. I, стр. 581-603.

Бейли Уиллис. Механика строения Аппалачей, 13-я энт. Репт. Геол. США. Обзор., 1893, Pt. II, стр. 217-253.

A. Daubrée. Études Synthétiques de Géologie Expérimentale. Париж, 1879, стр. 306-328, стр. II.

W. Prinz. Quelques remarques générales à propos de l'essai de carte tectonique de la Belgique, etc., Bull. Soc. Бельгийская геология, т. 18, 1904, с. 143, пл. V.

Анализ складок:—

Ван Хайз и Уиллис, как указано выше; де Маржери и Хейм; "Вывихи на земле" (на французском и немецком языках). Цюрих, 1888.

Геологические карты:—

У. Х. Хоббс. Составление карт кристаллических сланцев, журн. Геол., т. 10, 1902, с. 780-792, 858-890.

ГЛАВА VI

АРХИТЕКТУРА РАЗРУШЕННОЙ НАДСТРОЙКИ



Рис. 36. — Набор основных соединений, образовавшихся в сланце на берегах озера Каюга близ Итаки, штат Нью-Йорк (после США).

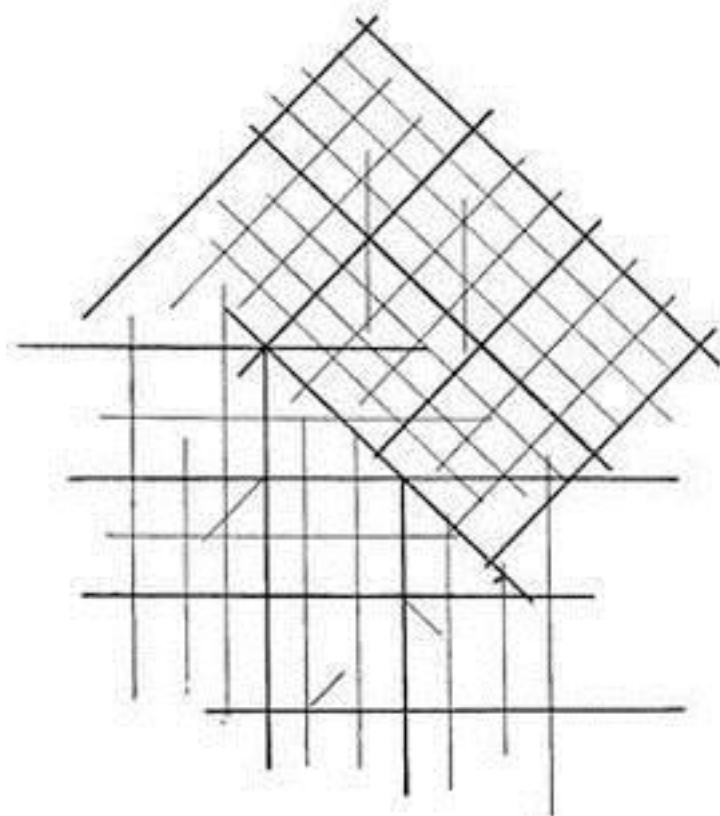


Рис. 37. Схема, показывающая, как наборы основных соединений, отличающиеся по направлению на половину прямого угла, могут внезапно заменять друг друга.

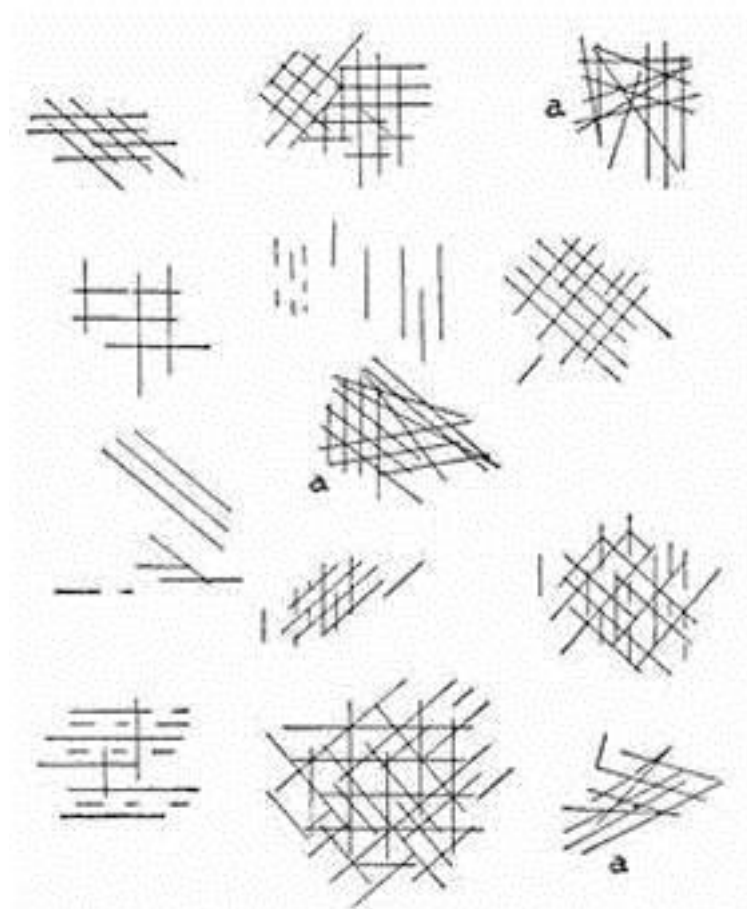


Рис. 38. Схема, показывающая различные комбинации серий, составляющих два двойных набора основных суставов, и при *a, a, a* дополнительные беспорядочные переломы.

Система переломов. Ссылаясь на эксперименты, проведенные при разрушении твердых блоков при сжатии (стр. 41), было показано, что две серии параллельных трещин развиваются перпендикулярно каждой свободной поверхности блока, и что каждая из этих серий наклонена на половину прямого угла к направлению сжатия и, следовательно, перпендикулярна друг другу. Фрагменты, на которые, таким образом, может быть разделен блок с одной свободной поверхностью, должны представлять собой квадратные призмы, перпендикулярные свободной поверхности. Было бы интересно, если бы это было практически осуществимо, узнать из эксперимента, как эти призмы будут далее разрушаться при продолжении сжатия. Исходя из механических соображений, связанных с распределением усилий по отношению к уже сформированным трещинам, представляется вероятным, что следующая серия образующихся трещин разделит пополам углы первой двойной серии или набора. Везде, где горные породы обнаруживаются обнаженными в их первоначальном положении, фактически видно, что они пересечены двумя параллельными сериями трещин, которые перпендикулярны поверхности земли и друг другу и называются *стыками*. Во многих случаях обнаруживается более двух серий таких переломов, но даже в этих случаях выделяются две более идеально развитые серии, которые почти точно перпендикулярны друг другу, а также поверхности земли. Этот вездесущий двойной ряд или набор соединений является хорошо известным набором *основных соединений*, и очень часто его обнаруживают разработанным практически в одиночку (рис. 36). На больших площадях направление набора основных соединений может оставаться практически

постоянным, или этот набор может совершенно неожиданно уступить место аналогичному набору, который, однако, повернут на половину прямого угла от первого (рис. 37). Нередко два таких набора основных соединений встречаются вместе, разделяя углы пополам друг с другом в пределах одних и тех же пород, и к ним иногда добавляются дополнительные, хотя и менее совершенные серии плоскостей соединения.

Изученные на значительной территории, различные серии, составляющие эти два набора основных соединений, можно увидеть локально развитыми в различных комбинациях, а также в сочетании с дополнительными плоскостями трещин, которые нелегко свести к какому-либо простому закону расположения (рис. 38 а, а, а). Лишь изредка наблюдаются регулярные ряды стыков, которые не расположены перпендикулярно первоначальному положению пластов горных пород. Однако в нескольких населенных пунктах были обнаружены наборы прямоугольных швов, которые разделяют породу на призмы, параллельные поверхности земли, и с рядом швов, наклоненных к ней каждая на половину прямого угла. Там, где скальные пласты были сильно нарушены, комплекс соединений может быть таким, что не поддается никаким попыткам упорядоченного расположения.



Рис. 39. Вид берега в Хольстенсборге, Западная Гренландия, показывающий неравные расстояния между швами (после Корнерупа).

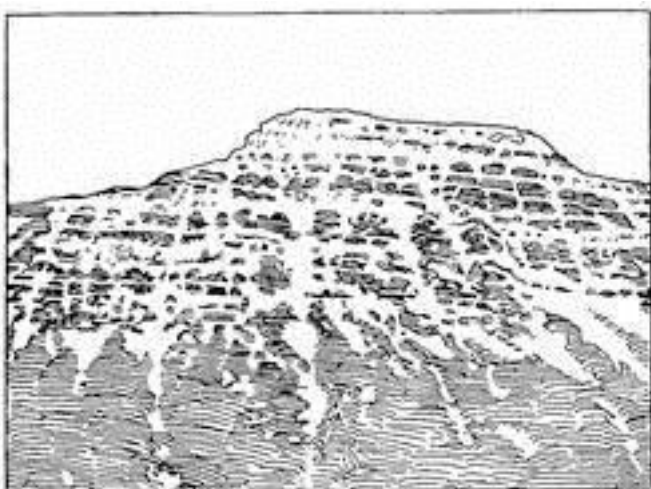


Рис. 40. Вид открытого склона холма в Исландии, на котором снег, скопившийся в трещинах вдоль швов, выгодно подчеркивает как большие, так и меньшие промежутки системы швов (после Торордсена).

Промежутки между стыками.—Обнаружено, что такое же неравномерное расстояние, которое характеризует трещины вблизи поверхности блока в эксперименте Добре (рис. 19, стр. 41), имитируется стыками пород (рис. 39). Такие единичные интервалы между переломами могут быть сгруппированы в более крупные единицы, которые разделены переломами необычного совершенства. Мы можем думать о таких больших пространственных единицах, когда на них накладываются меньшие (рис. 40).

Смещения в суставах —неисправности.—В подавляющем большинстве случаев трещины на стыках при тщательном осмотре не обнаруживают никаких признаков сколько-нибудь заметного смещения двух стен друг относительно друга. Как правило, видно, что слои породы пересекают стыки без видимого смещения. Таким образом, суставы являются только плоскостями разъединения, а не плоскостями смещения.



Рис. 41. Разрушенные блоки базальта, разделенные стыками, недалеко от Вудбери, Коннектикут. Чтобы показать структуру скалы, при подготовке эскиза с фотографии была удалена часть листвы.

Однако во многих районах можно заметить, что на определенных плоскостях сочленения произошло смещение, которое затем описывается как *разломы*. Такие перемещения по необходимости подразумевают дифференцированное перемещение участков или блоков земной коры, так называемых *орографических блоков*, которые ограничены плоскостями сочленения и играют индивидуальную роль в движении. Простой случай таких смещений в горных породах, пересеченных одним набором основных швов, представлен в модели пластины 4с. Наиболее заметный разлом, представленный этой моделью, проходит вдоль середины, и измеренное на нем смещение не только варьируется в широких пределах, но и отмечено резкими изменениями на краях более крупных блоков. Это вертикальное смещение при разломе называется его *выбросом*. Хотя это и не проиллюстрировано моделью, горизонтальные смещения также могут происходить, и они будут более подробно рассмотрены при рассмотрении темы землетрясений в следующей главе. Реальный пример блоков, смещенных вертикальным регулированием, представлен на рис. 41, простом типе разрушения, которое имело место в горных породах, но слегка отклонено от их первоначального положения, но пересечено относительно простой системой основных швов. В тех регионах, где пласты были сложены и, возможно, опрокинуты до того, как они поднялись в зону разлома, и которые в дальнейшем пересекаются неупорядоченными плоскостями трещин, результаты гораздо более сложные. В таких случаях плоскости индивидуального смещения могут быть не вертикальными, хотя обычно они имеют крутизну

более 45° . Для их описания необходимо использовать дополнительные технические термины (рис. 42). Наклон наклонной плоскости разлома, измеренный относительно вертикали, называется *hade* разлома. Полное смещение измеряется вдоль плоскости разлома от точки на одном конце до точки, от которой он был отделен на другом. Дополнительные термины достаточно понятны на диаграмме.

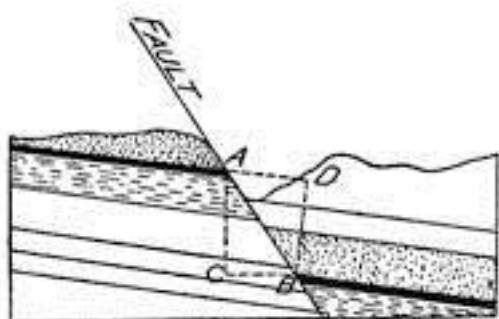


Рис. 42.— Разлом в ранее нарушенных пластах. *AB*, смещение; *AC*, бросок; *BD*, стратиграфический бросок; *BC*, подъем; угол *КАБИНЫ*, аид.

Методы обнаружения неисправностей.—Первым следствием разлома обычно является образование трещины на поверхности земли; и, при условии вертикального смещения или броска, откоса, который возвышается на обращенной кверху стороне разлома. В целом можно сказать, что уступы, которые появляются на поверхности земли в виде плоских поверхностей, вероятно, представляют собой плоскости разлома, хотя и не обязательно плоскости разломов. Во многих случаях фактические смещения погребены под рыхлыми обломками горных пород вблизи уступа и параллельно ему, а в некоторых случаях в результате эрозионных процессов, воздействующих попеременно на твердые и мягкие слои породы, уступ может позже появиться на нисходящей стороне или отростке разлома (рис. 43). В качестве иллюстрации откоса разлома можно привести фасад Эль-Капитана и многие другие скальные обрывы долины Йосемити.

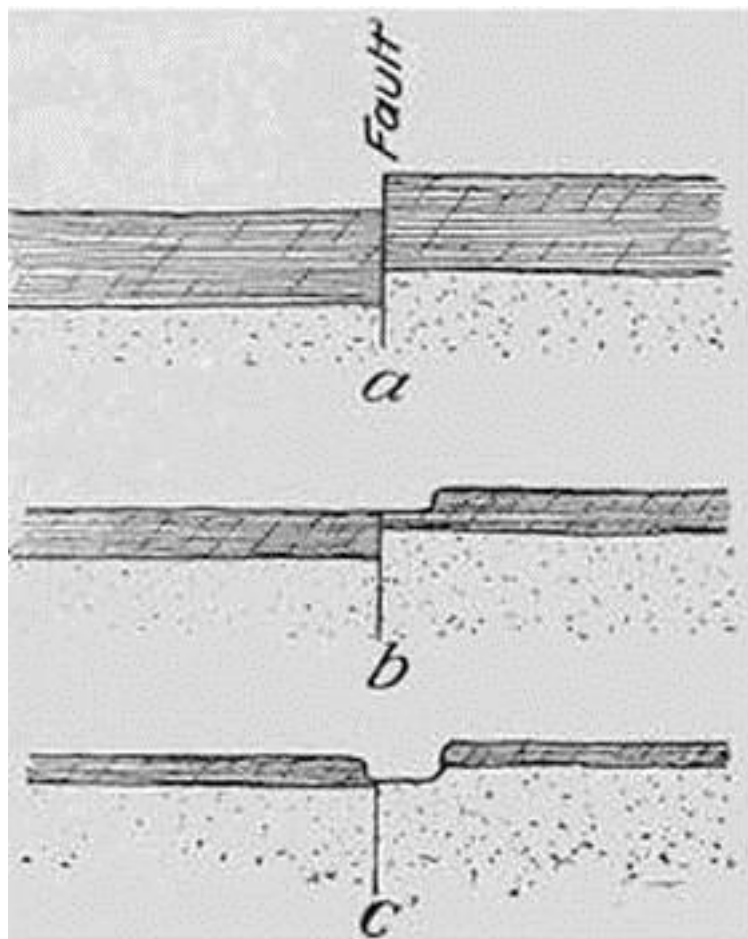


Рис. 43. Диаграммы, показывающие, как откос, первоначально находившийся на верхней стороне разлома, может в результате эрозии появиться на нижней стороне.



Рис. 44.— Плоскость разлома, демонстрирующая "сопротивление". Отверстие искусственное (по Скотту).

Когда мы продолжим изучение эрозионных процессов на поверхности земли, станет понятно, что разломы, как правило, быстро скрываются из виду, в то время как складчатые структуры еще долго будут оставаться заметными. Таким образом, многие разломы будут упущены из виду, и складкам, вероятно, будет придан слишком большой вес при учете существующего положения горных массивов. Поэтому необходимо искать ошибки, если мы хотим избежать ошибок в интерпретации.

Наиболее удовлетворительным свидетельством наличия разлома является обнаружение скального пласта, который можно легко идентифицировать и который фактически виден смещенным в плоскости разлома, пересекающей его (рис. 42, стр. 59). Когда такой легко узнаваемый слой обнаружить невозможно, плоскость смещения, возможно, может быть обнаружена как узкая зона, состоящая из угловатых фрагментов породы, сцементированных вместе минералами, которые образуются из раствора в воде. Такая зона трещиноватой породы, которая следует за плоскостью разлома, является *разломной брекчией*. Если брекчия разлома, или жильная порода, намного прочнее породы с обеих сторон, то в конечном итоге она может рельефно выступать на поверхность, подобно дамбе или стене. В других случаях смещение приводит к незначительному разрушению стенок, но они скользят друг по другу таким образом, что образуется либо гладко рифленая, либо равномерно отполированная поверхность, которая описывается как "скользкие стороны". Однако может случиться так, что во время движения либо одна, либо обе стенки "протащились" и, таким образом, загнулись назад в непосредственной близости от плоскости разлома (рис. 44).

Когда, как это довольно часто бывает, фактическая плоскость смещения разлома недоступна для осмотра, движение может быть подтверждено наблюдением резких, в отличие от постепенных, изменений в выступах и понижениях соседних обнажений (рис. 45); или замечанием того, что какая-то легко узнаваемая формация была резко смещена в своих обнажениях (рис. 46).

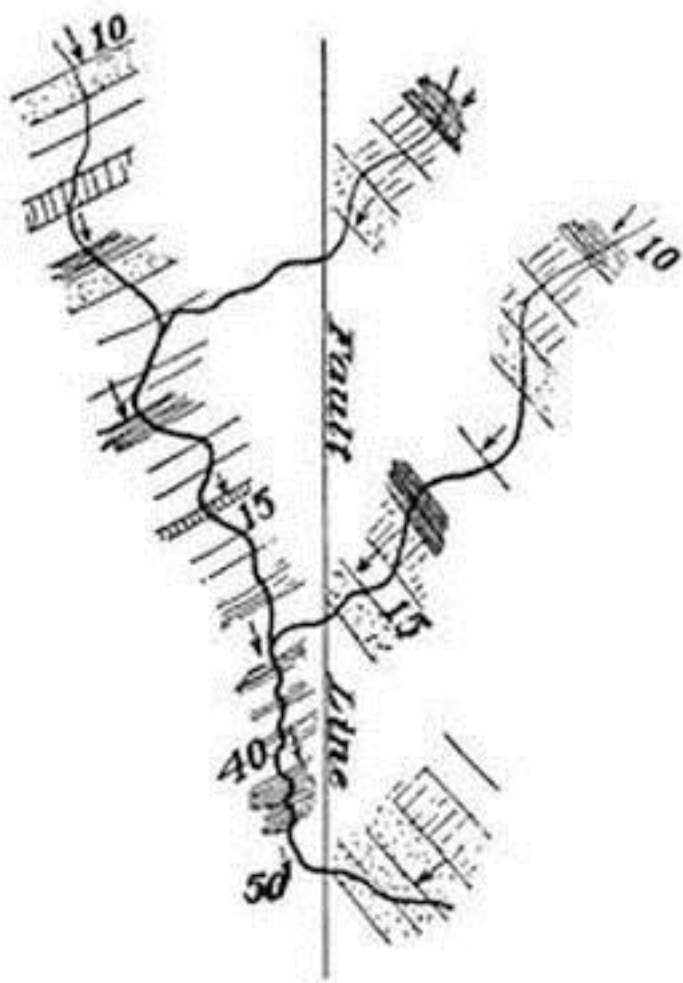


Рис. 45. Карта, показывающая, как неисправность может быть обозначена при резких изменениях простирания и падения соседних обнажений.

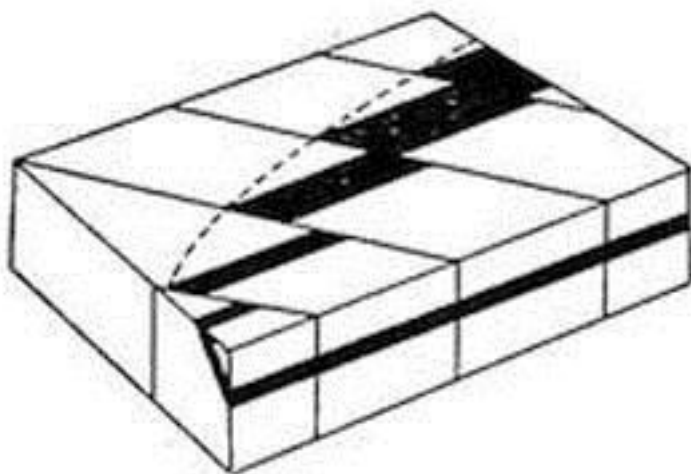


Рис. 46.— Серия параллельных разломов, обозначенных последовательными смещениями в ходе легко узнаваемого скального образования.

Кроме того, существует множество указаний, а не доказательств наличия разломов, которые необходимо принимать во внимание при каждом общем изучении геологии района. Таким образом, выходы всех соседних формаций могут резко обрываться на прямой линии, которая пересекает все одинаково. Пружины с глубокими трещинами могут быть выровнены

поразительным образом и, таким образом, указывать на характерный перелом, хотя и не обязательно на неисправность. Во многом то же самое можно сказать и о дайках охлажденной магмы, которые были нагнетены вдоль ранее существовавших трещин.

Основа геологической карты.—Современные топографические карты составляют важную часть библиотеки серьезного изучающего физиологию; они являются справочником этой отрасли науки. Сегодня каждая цивилизованная нация либо завершила топографический атлас своей территории, либо энергично проводит топографическую съемку для составления карт, которые представляют рельеф с некоторыми деталями, и публикует результаты в виде атласа четырехугольников. Таким образом, рельефную карту вскоре можно будет получить в любой части цивилизованного мира, и ее можно будет приобрести в отдельных разделах. Нигде эта работа не проводится с большей энергией, чем в Соединенных Штатах, где обширная область, представляющая все типы топографических особенностей, подвергается атаке из многих центров. Здесь и в других местах рельеф суши выражается так называемыми контурами или линиями равной высоты на поверхности земли. Это похоже на то, как если бы ряд горизонтальных плоскостей, разделенных одинаковыми интервалами в 20, 40 или 100 футов, пересекал поверхность, а кривые пересечения после последовательной нумерации были перенесены в единую плоскость для печати.

Там, где склоны крутые, контурные линии на топографической карте будут казаться сгруппированными и, таким образом, создавать глубокий оттенок на карте; в то время как на относительно плоских поверхностях белые пятна будут заметно выделяться на карте. Все чаще и чаще используется топографическая карта, и для изучающего природу, в частности, важно приобрести навыки интерпретации рельефа по топографической карте. Для достижения этой цели была разработана специальная модель, и ее использование описано в приложении С. Обычно, прежде чем можно будет составить какую-либо удовлетворительную геологическую карту, должна быть доступна контурная топографическая карта изучаемого района.

Полевая карта и площадная геологическая карта.—Поскольку атлас топографических карт является физико-географическим справочником, геологические карты вместе составляют справочный словарь по описательной геологии. Мало того, что топографические карты многих районов теперь общедоступны, но все больше и больше правительств придерживаются политики предоставления геологических карт в той же четырехугольной форме, которая является единицей топографической карты. Геологическая карта, однако, представляет собой комплекс из такого количества условных символов, что без некоторого практического опыта в фактическом составлении одной из них студенту чрезвычайно трудно понять ее значение. Современная геологическая карта обычно представляет собой прямоугольный лист, напечатанный в цвете, на котором множество неправильных областей индивидуального оттенка соединены друг с другом, как части детского пазла.

Предполагается, что каждая цветная область на геологической карте указывает, где непосредственно под поверхностью залегает определенный тип породы или формации, и это распределение отражает наилучшее суждение геолога, который после изучения местности подготовил карту. К сожалению, используемые условности таковы, что его наблюдение и его теория безнадежно перепутались в готовом продукте. Вооруженный геологической картой, студент, посещающий местность, обнаруживает перед собой, возможно, ландшафт холмов и долин, зеленого леса и коричневых сельскохозяйственных угодий, который настолько отличается, насколько это возможно, от цветного пазла, который он держит в руке. Скрытые под растительностью фермы или замаскированные лесом, разбросаны выходы горных пород, которые легли в основу суждения геолога при

составлении карты. Опыт показывает, что для преодоления большого разрыва между геологией ландшафта и цветными пятнами на карте необходимо нечто большее, чем простое изучение цветного листа. Поэтому мы опишем с помощью лабораторных моделей различные этапы, необходимые для составления геологической карты, и каждому студенту следует посоветовать следовать этому при практическом изучении какой-нибудь небольшой области, где горные породы находятся в обнажении.

Хотя опубликованная *площадная геологическая карта* отражает как факт, так и теорию, картограф сохраняет неопубликованную *полевую карту* или карту наблюдений, на которой была основана окончательная карта. На этой полевой карте показано местоположение каждого изученного обнажения с указанием типа породы и таких наблюдений, как простирание, падение и наклон. Поэтому нашей задачей будет подготовить: (1) полевую карту; (2) площадную геологическую карту; и (3) несколько типичных геологических разрезов.

Лабораторные модели для изучения геологических карт.—Чтобы представить в лаборатории расположение горных пород в полевых условиях, подготавливаются специальные лабораторные столы со съемными крышками и фиксированными столешницами, которые разделены на квадраты, пронумерованные так же, как участки населенных пунктов в национальном домене (рис. 47). Чтобы изобразить выходы горных пород, подготавливаются блоки, которые можно зафиксировать в любом желаемом положении, вставив штифт в небольшое отверстие, просверленное в столе. Блоки обнажения для типов осадочных пород построены таким образом, чтобы показывать простирание и углубление пластов. (См. Приложение D.)

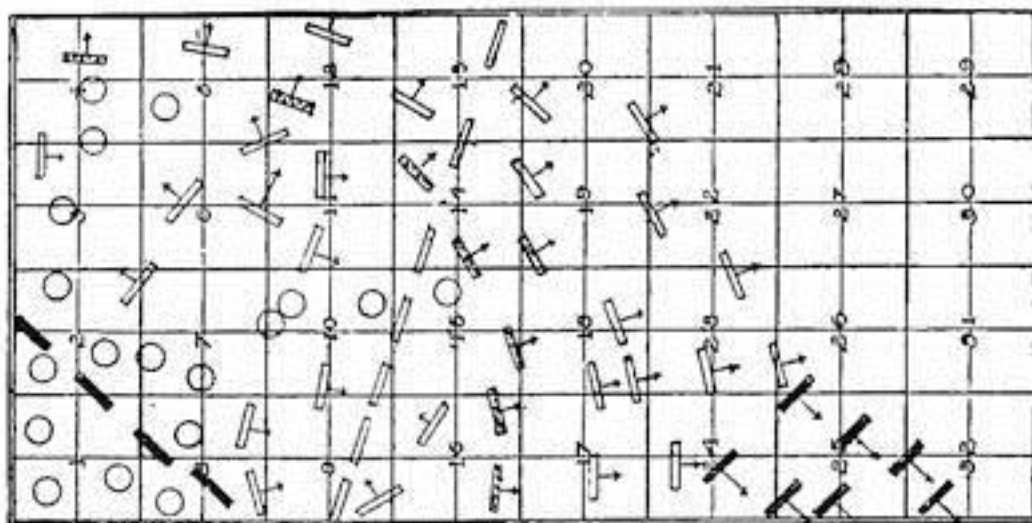


Рис. 47. — Карта поля, составленная на основе лабораторного стола.

Метод подготовки карты.—Для подготовки карты используется геологический компас с клинометром, транспортир и основа карты, разделенная на секции, подобные верхней части таблицы, в масштабе от одного дюйма до фута. Каждая экспозиция, представленная в таблице, “посещается”, а затем располагается на базовой карте в надлежащем положении. Результатом является карта поля (рис. 47), которая, таким образом, отражает только факты, если только не было неточностей в корреляции экспозиций или в определении положения плоскости залегания.

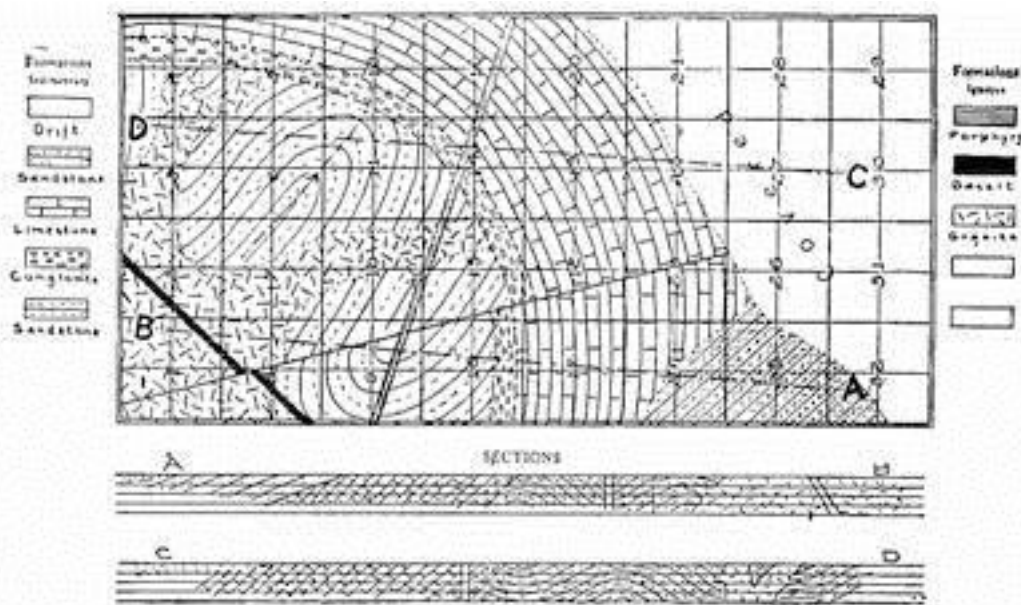


Рис. 48.—Площадная геологическая карта, построенная на основе полевой карты, приведенной на [рис. 47](#), с двумя выбранными геологическими разрезами.

Чтобы составить площадную геологическую карту на основе полевой карты, сначала необходимо установить *границы*, разделяющие пласты на поверхности; и теперь, возможно, впервые осознается, насколько велик элемент неопределенности, если обнажения были широко разделены. Ясно, что никакие два человека не проведут эти линии в одних и тех же положениях повсюду, хотя определенные их части, где факты более адекватны, могут совпадать. На [рис. 48](#) представлена геологическая карта местности, построенная на основе полевой карты, причем сомнительная область с одной стороны оставлена незаполненной.

Теперь можно с пользой рассмотреть некоторые выводы, сделанные на основе этой карты. Сложно складчатая формация песчаника в левой части карты представляется самой древней из представленных, поскольку ее территория была прорезана интрузивным гранитом, который не вторгается в другие формации и несогласованно перекрыт известняком и его базальным слоем конгломерата. Известняк, в свою очередь, несогласованно перекрыт просто наклоненными пластами песчаника в правой части карты. Эти три осадочные формации явно представляют собой уменьшающиеся объемы тесной складчатости, из чего ясно, что каждая более ранняя формация прошла через эпизод, не разделяемый формацией следующего, более молодого возраста. Из других интрузивных пород дайка порфира моложе всех других образований, за возможным исключением верхнего песчаника. Смещение пластов выявило направление разлома, и из его связи с дайками мы можем узнать, что из них порфир моложе, а базальт старше даты образования разлома.

Пунктирные линии на карте (AB и CD) были выбраны в качестве подходящих линий для построения геологических разрезов ([рис. 48](#), ниже карты), и по этим разрезам можно рассчитать *обнаженные* толщины различных пластов. Только в одном случае, в случае конгломерата, мы можем быть уверены, что эта открытая толщина измеряет всю формацию.

Складка в зависимости от топографии разлома.—Более устойчивые или “более прочные” пласты горных пород в отношении атмосферных воздействий со временем выделяются в рельеф, разделенный впадинами, которые перекрывают “более слабые” образования. Простые открытые складки, которые не углубляются, оказывают влияние на

топографию, образуя, как правило, длинные и прямые гребни. Более сложные изгибы, поскольку они обычно углубляются, проявляются в особенностях, которые на карте представлены кривыми. Структуры разломов и особенно смещения блоков отличаются от этих изогнутых объектов преобладанием прямых или почти прямолинейных линий на карте. Эффект эрозии заключается в уменьшении неровности элементов и придании им плавных изгибов. По этой причине структуры трещин с гораздо большей вероятностью будут упущены из виду, и если мы не хотим, чтобы они ускользнули от наблюдателя, их следует искать с осторожностью. Структуры складок и разломов могут быть обнаружены на одной и той же карте.

Чтение ссылок на главу VI

Соединительные системы:—

Джон Филлипс. Наблюдения, сделанные в окрестностях Феррибриджа в 1826-1828 годах, Phil. Mag., 2d сер., том 4, 1828, стр. 401-409; Иллюстрации геологии Йоркшира, Pt. II, Известняковый район. Лондон, 1836, стр. 90-98.

Сэмюэл Хотон. О физической структуре старого красного песчаника графства Уотерфорд, рассматриваемого в связи со спайностью, поверхностями сочленения и разломами, Пер. Roy. Soc. Лондон, том 148, 1858, стр. 333-348.

В. К. Бьерреп. Spaltenverwerfungen in der Gegend Langesund-Skien, Nyt Magazin for Naturvidenskaberne, vol. 28, 1884, pp. 253-419.

У. Х. Хоббс. Система Ньюарк в долине Помперауг, Коннектикут, 21-я энн. Представитель США Геол. Обзор, Стр. III, 1901, стр. 85-143.

Геологическая карта:—

У. Х. Хоббс. Интерпретация геологических карт, Школьные науки и математика, том 9, 1909, стр. 644-653.

ГЛАВА VII

ПРЕРЫВИСТЫЙ ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЙ ЗЕМЛИ: ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ТОЛЧКИ

Природа землетрясений. Вера человека в стабильность Матери—Земли — *твёрдой земли*— настолько заложена в его натуре, что даже легкий толчок землетрясения вызывает грубое пробуждение. Ужас, который это внушает, без сомнения, в значительной степени объясняется этим разочарованием в самых фундаментальных его убеждениях. Если бы ему посоветовали получше, то долгие периоды затишья, которые отделяют землетрясения, а не более легкие толчки, которые следуют за всеми более масштабными потрясениями, вызвали бы у него беспокойство.



Рис. 49.—Вид части руин Мессины после землетрясения 28 декабря 1908 г.

Землетрясения являются ощутимыми проявлениями изменений уровня или боковых сдвигов частей континентов, а сейсмические возмущения на море — землетрясения и сейсмические морские волны — связаны с аналогичными изменениями на дне океана.

Во время более сильных или катастрофических землетрясений изменения действительно ужасающие и обычно сопровождаются человеческими жертвами и материальными потерями, которые можно сравнить только с последствиями крупных пожаров или наводнений на густонаселенных равнинах. Пожары слишком часто были следствием великих исторических землетрясений. Землетрясение 28 декабря 1908 года на юге Италии уничтожило почти все население большого города, а от его массивных зданий осталась лишь беспорядочная груда щебня (рис. 49). Два года спустя сильное землетрясение нанесло большой ущерб городам Коста-Рики (рис. 50), в то время как двумя годами ранее наша страна впервые по-настоящему осознала опасность, которой она подвергается из-за этих конвульсий земли; хотя, как мы увидим, с этими опасностями в значительной степени можно справиться с помощью надлежащих методов строительства.

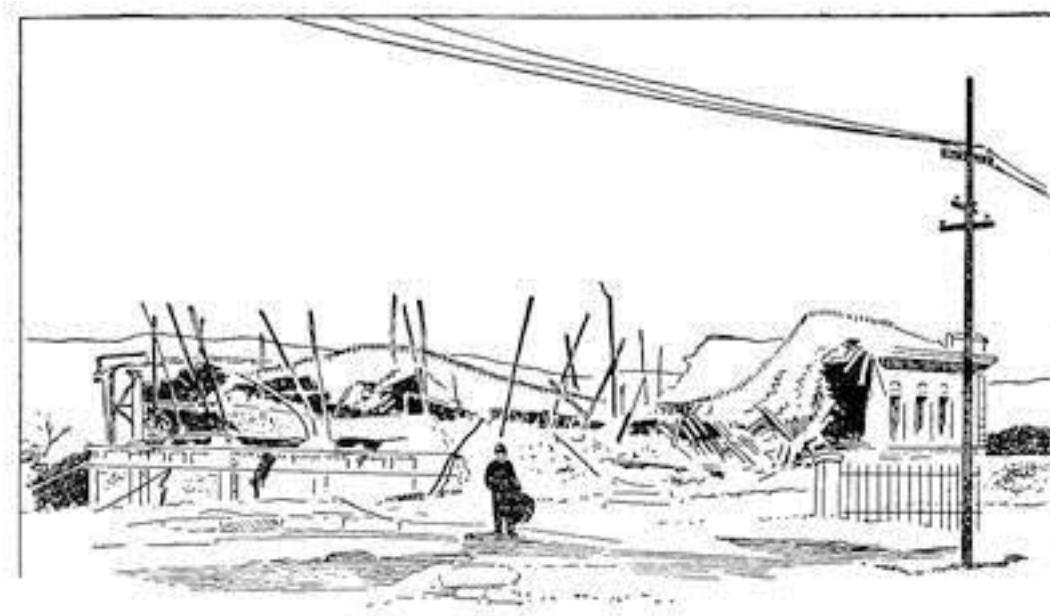


Рис. 50. Руины Дворца мира Карнеги в Картаго, Коста—Рика, разрушенного, когда строительство было почти завершено, сильным землетрясением 4 мая 1910 г. (по фотографии контр-адмирала Сингера, США).

Землетрясениям обычно на короткое мгновение предшествуют подземные раскаты, интенсивность которых, по-видимому, не имеет никакого отношения к последующим толчкам. Затем земля начинает колебаться в волнообразных движениях, которые, если они имеют большую амплитуду, могут вызывать тошноту, мешать животным держаться на ногах и разрушать все сооружения, не приспособленные специально для того, чтобы противостоять им. Тяжелые тела иногда выбрасываются из-под земли (рис. 51), а в других случаях подобные тяжелые массы, по-видимому, из-за своей инерции, более глубоко погружаются в землю. Таким образом, надгробия и тяжелые каменные столбы часто заглубляются глубже в землю и окружаются углублениями и, возможно, небольшими открытыми трещинами на поверхности (рис. 52). Когда тела подбрасываются вверх, это означало бы, что быстрое движение земли вверх было внезапно остановлено, в то время как захоронение тяжелых тел в земле, вероятно, связано с движением, которое начинается внезапно и заканчивается менее резко.



Рис. 51. — Боулдеры, подброшенные в воздух и перевернувшиеся во время землетрясения в Ассаме в 1897 году (по имени Р. Д. Олдхэма).

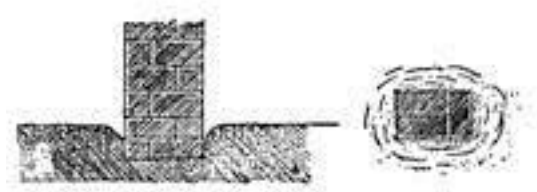


Рис. 52. — Тяжелый столб, погруженный глубже в землю во время землетрясения в Чарльстоне 31 августа 1886 г. (после Даттона).

Землетрясения и сейсмические морские волны.—В океане подземные толчки, исходящие от морского дна, ощущаются на борту судна как внезапные толчки, которые создают впечатление, что судно налетело на мель, хотя в большинстве случаев в воде нет видимого волнения. Распределение этих толчков, на что указывают либо данные о соседствующих судах во время конкретного толчка, либо записи судов, которые в разное время проходили над районом частых сейсмических возмущений, по-видимому, ограничено узкими зонами или линиями (рис. 53). Та же тенденция подводных возмущений локализовываться на определенных прямых линиях часто иллюстрировалась поведением глубоководных кабелей, которые прокладываются вблизи друг от друга и которые, как известно, расходятся одновременно в точках, расположенных на расстоянии от прямой линии.

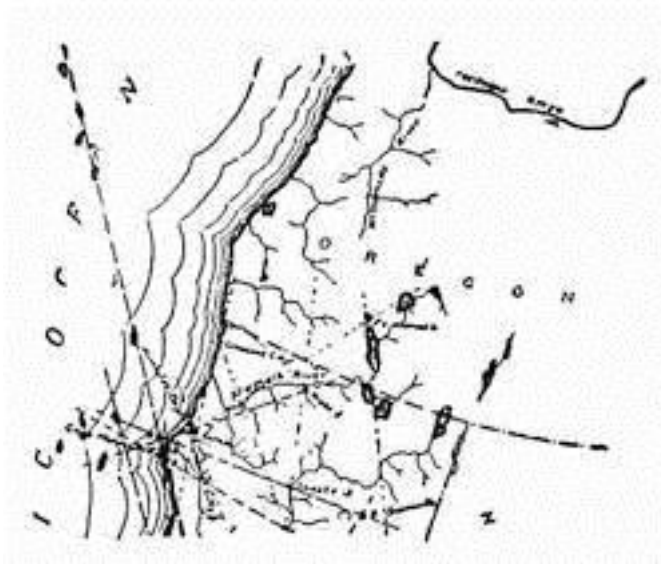


Рис. 53.— Карта, показывающая населенные пункты, в которых были зарегистрированы подземные толчки в море у мыса Мендосино, Калифорния.

Гораздо более масштабные возмущения на дне океана были выявлены большими морскими волнами — так называемыми “приливными волнами”, которые должным образом называются *цунами*, - которые повторяются в тех морских районах, которые примыкают к особым зонам землетрясений на континентах (стр. 86). Предвестником такой морской волны, приближающейся к берегу, обычно является внезапный отход воды, обнажающий часть дна, но хорошо известно, что это предвестие гигантской надвигающейся волны, которая сметает все перед собой и останавливается только тогда, когда она прокатится по всей низменной местности и столкнется с горной стеной. Такие сейсмические волны были особенно распространены на тихоокеанском побережье Южной Америки и на японском побережье (рис. 54). Эти волны исходят из огромных впадин на дне океана и, очевидно, являются результатом более масштабных движений земли, которым эти впадины обязаны своей исключительной глубиной. Можно предположить, что отток воды от соседних берегов связан с понижением дна впадины и последующим опусканием поверхности океана над ней. Более поздняя высокая волна, таким образом, представляла бы собой рассеивание водной горы, которая поднимается при встрече вод с разных сторон впадины.

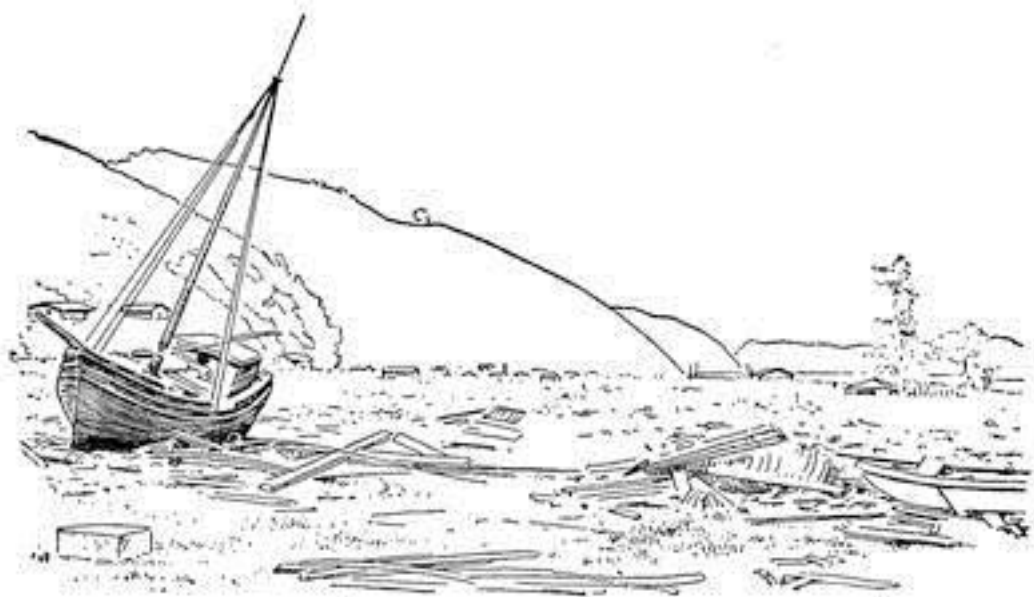


Рис. 54. Влияние сейсмической волны на воду в Камаиси, Япония, в 1896 году (после Э. Р. Скидмора).

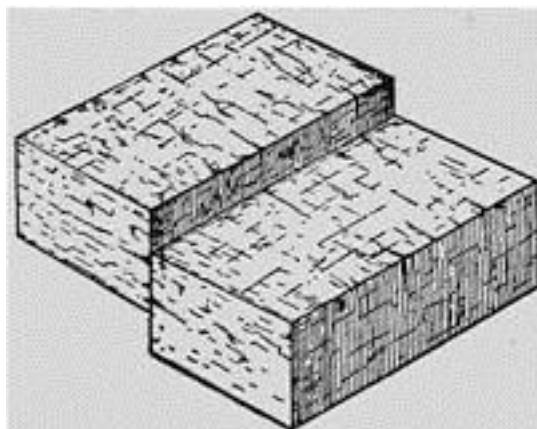


Рис. 55. Неисправность вертикального смещения.

Большие и малые земные движения.—На суше более сильные и так называемые катастрофические землетрясения обычно сопровождаются важными изменениями на поверхности земли, которые будут обсуждаться в последующих разделах. Те толчки, которые наносят незначительный ущерб сооружениям, не вызывают видимых изменений на поверхности земли, за исключением, может быть, сотрясения некоторых пропитанных водой масс земли на более крутых склонах. Другие движения, слишком слабые, чтобы их можно было почувствовать даже ночью, когда животный мир находится в состоянии покоя, все же можно различить по их звукам, безошибочному грохоту, который характерен как для самых сильных, так и для самых легких землетрясений.



Рис. 56.— Откос, образовавшийся в результате землетрясения с вертикальным смещением, которое пересекло реку Чедранг и, таким образом, привело к образованию водопада, землетрясение в Ассаме 1897 года (по Р. Д. Олдхэму).

Изменения земной поверхности во время землетрясений —разломы и трещины.—

Каждое из крупнейших исторических землетрясений сопровождалось примечательными изменениями в конфигурации земной поверхности в районе, где толчки были наиболее интенсивными. Обычно обнаруживается, что участок грунта сдвинулся относительно другого, находящегося по другую сторону вертикальной плоскости, которую обычно можно увидеть; здесь мы имеем дело с фактическим образованием разлома или смещения, подобные тем, которые мы находим в ископаемых образцах в горных породах. Смещение, или бросок, в плоскости разлома может быть либо вверх, либо вниз, либо вбок в одном или другом направлении, либо эти перемещения могут быть комбинированными. Часто наблюдалось движение соседних участков земли вверх или вниз относительно друг друга (рис. 55), особенно в Мидори после великого японского землетрясения 1891 года и в долине Чедранг в Ассаме после землетрясения 1897 года (рис. 56).

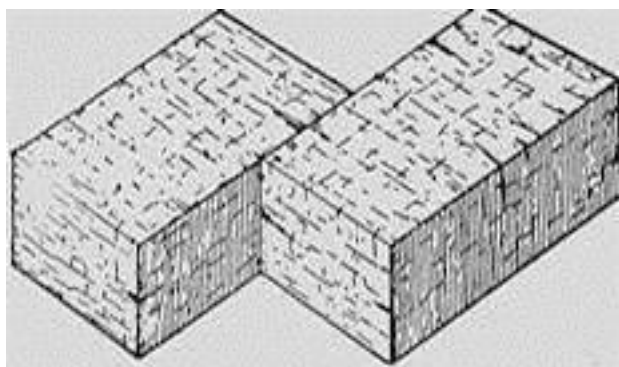


Рис. 57. Неисправность бокового смещения.

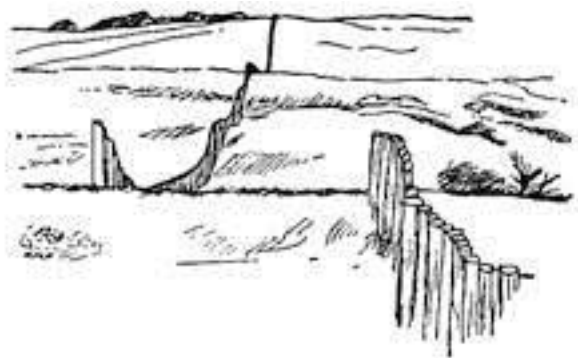


Рис. 58. Забор раздвинут и смещен на пятнадцать футов поперечным разломом, образовавшимся во время калифорнийского землетрясения 1906 года (после У. Б. Скотта).

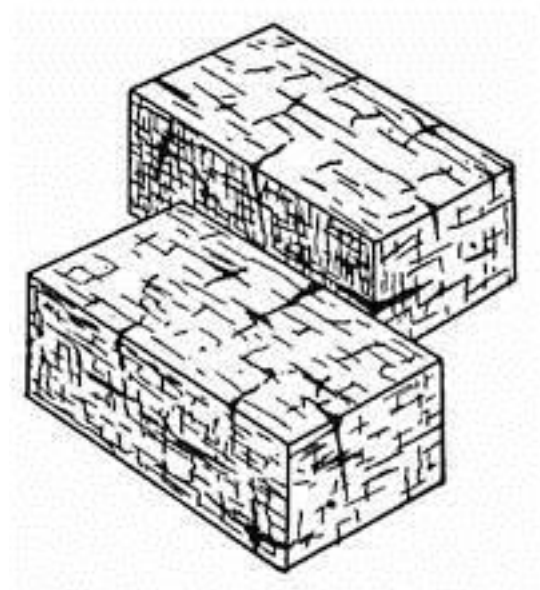


Рис. 59.— Разлом с комбинированными вертикальными и боковыми смещениями.

Боковой бросок, не сопровождающийся заметным вертикальным смещением (рис. 57), особенно хорошо иллюстрируется разломом в Калифорнии, образовавшимся во время землетрясения 1906 года (рис. 58). Сочетание двух типов смещения в одном (рис. 59) иллюстрируется разломом Байсико на Формозе в месте, показанном на рисунке 3 А.

Мера смещения.—Чтобы дать некоторое представление о смещениях, которые наблюдались при землетрясениях, можно указать, что максимальный вертикальный бросок, измеренный на разломе в долине Нео в Японии (1891 г.), составлял 18 футов, в долине Чедранг в Ассаме (1897 г.) - 35 футов, а на побережье Аляски (1899 г.) - 47 футов. В этих случаях большие участки земли были полностью подняты в течение нескольких секунд или, самое большее, нескольких минут, в зависимости от приведенных величин. Наибольшее зарегистрированное боковое смещение, измеренное в результате землетрясения, составляет около 21 фута в Калифорнийском рифте после землетрясения 1906 года; хотя величина, лишь немного меньшая, чем эта, указана в смещении дорог и арroyсов, датируемых землетрясением 1872 года в долине Оуэнс, Калифорния. Однажды установленные линии разломов являются плоскостями особой слабости и позже становятся местом повторяющихся движений того же рода.

Рисунок 3.



А. В 1906 году на Формозе открылся сейсмический разлом с сочетанием вертикальных и боковых смещений (после Омори).



Б. В 1889 году на Аляске открылись сейсмические разломы, на которых вертикальные срезы земной оболочки претерпели индивидуальные корректировки (после Тарра и Мартина).

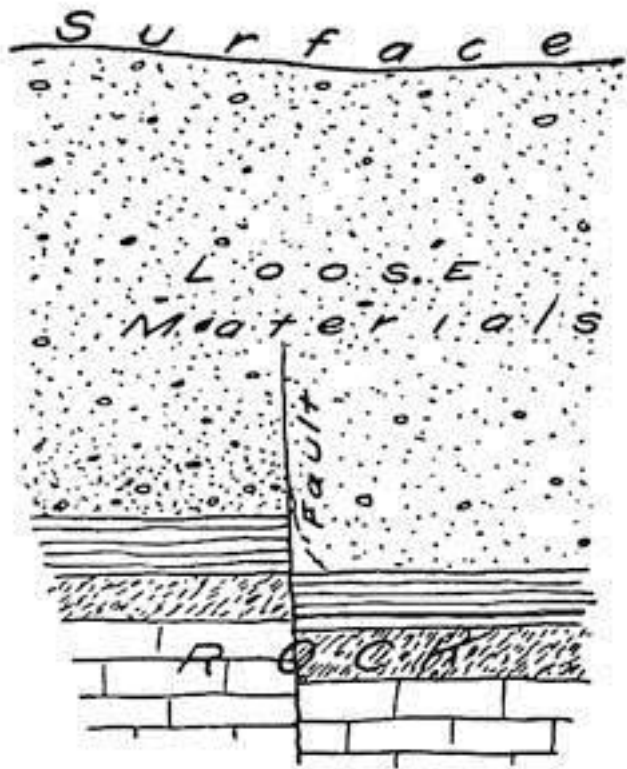


Рис. 60. Схема, показывающая, как небольшие разломы в скальном основании могут быть замаскированы на поверхности с помощью корректировок в пределах рыхлого скального покрова.

Большее количество сейсмических разломов обнаружено в рыхлом скальном покрове, который обычно покрывает более прочный скальный фундамент, и почти наверняка броски внутри твердой породы значительно больше, чем те, которые здесь измерены на поверхности, из-за корректировок, которые так легко происходят в более рыхлых материалах. Те более легкие толчки землетрясения, которые не сопровождаются видимыми смещениями на поверхности, однако, в некоторых случаях в определенной степени влияют на поток воды на поверхности и, таким образом, указывают на то, что произошли небольшие изменения уровня поверхности без достаточно резких разрывов, которые можно было бы заметить (рис. 60). Промежуточным звеном между крутым откосом и только что описанным скрытым смещением является так называемый эффект “кротовой горки” - округлый и покрытый различными трещинами склон или гребень над местом скрытого разлома (рис. 61).

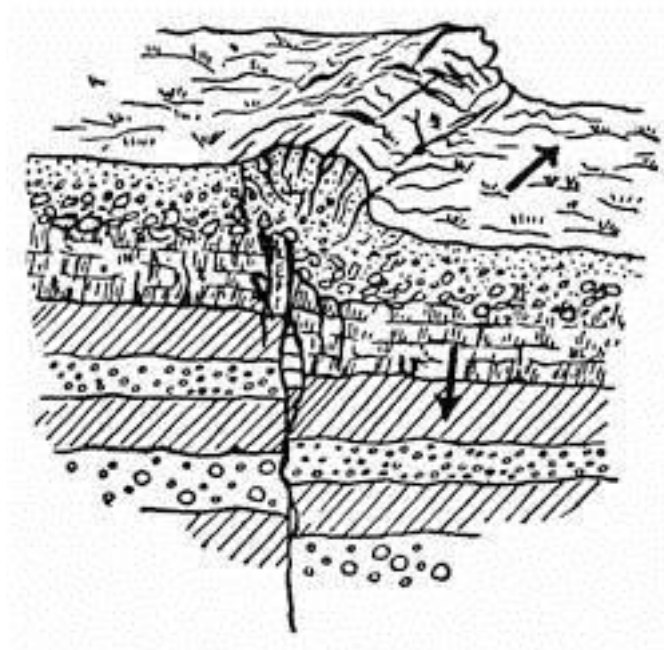


Рис. 61. Схема, показывающая внешний вид “кротового холма” над погребенным землетрясением разломом (после Котомо).

Откосы, образовавшиеся в результате землетрясений в рыхлых материалах на поверхности земли, очевидно, могут сохранять свою крутизну самое большее в течение нескольких лет или десятилетий; поскольку из-за своей вертикальности они должны постепенно исчезать в виде округлых склонов под действием стихии. Меньшие смещения внутри породы, которая быстро разрушается под действием мороза и солнца, также вскоре будут стерты. В тех исключительных случаях, когда с прочного типа породы были срезаны все измененные верхние слои до тех пор, пока не обнажилась свежая и твердая поверхность, а также она была дополнительно защищена от мороза и солнца под тонким слоем почвы, ее первоначальная поверхность может сохраняться неизменной в течение многих столетий. На такой поверхности малейшие ощутимые толчки или даже незначительные движения земли, которые в данный момент не воспринимаются, могут оставить почти неизгладимый след. Такие записи, в частности, показывают, что движения, которые они регистрируют, происходят в плоскостях трещиноватости внутри породы, и что эти уже сформировавшиеся трещины, вероятно, были местами повторяющихся и кумулятивных изменений (рис. 62).

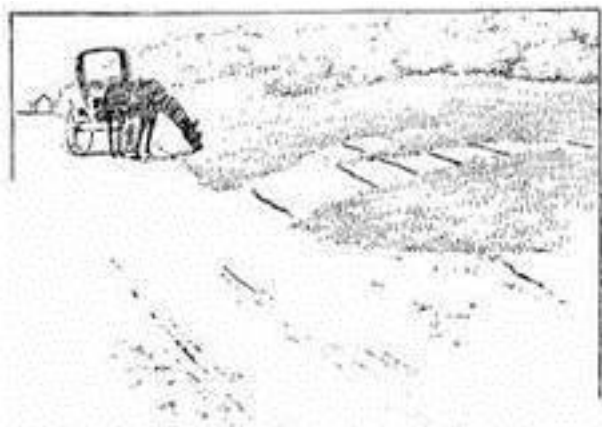


Рис. 62. Разломы послеледникового землетрясения небольшого, но кумулятивного смещения, восточный Нью—Йорк (после Вудворта).



Рис. 63. Трещины от землетрясения в пустыне Колорадо (по фотографии Зауэрвена).

Сжатие земной поверхности во время землетрясений.—Большие колебания величины бокового смещения при землетрясениях, подобных тем, что были открыты в Калифорнии в 1906 году, показывают, что во время сильного землетрясения должны происходить большие локальные изменения плотности материалов поверхности. Буквально, в низинах могут появиться тысячи трещин, многие из которых, без сомнения, являются вторичным эффектом сотрясения, но другие, такие как *кебрады* в южных Андах или “трещины от землетрясения” в пустыне Колорадо (рис. 63), могут иметь более глубокое происхождение. Однако многие факты показывают, что, хотя локальное расширение действительно происходит в некоторых населенных пунктах, сжатие поверхности является гораздо более общим следствием движения земли. В цивилизованных странах с высоким уровнем промышленного развития, где металлические линии того или иного вида проходят на большие расстояния под землей или по поверхности земли, такое общее сужение поверхности может быть легко доказано. Сравнительно редко металлические полосы раздвигаются таким образом, чтобы показать расширение поверхности; тогда как выступы и перегибы линий появляются во многих местах, доказывая, что площадь, в пределах которой они находятся, в целом была уменьшена.

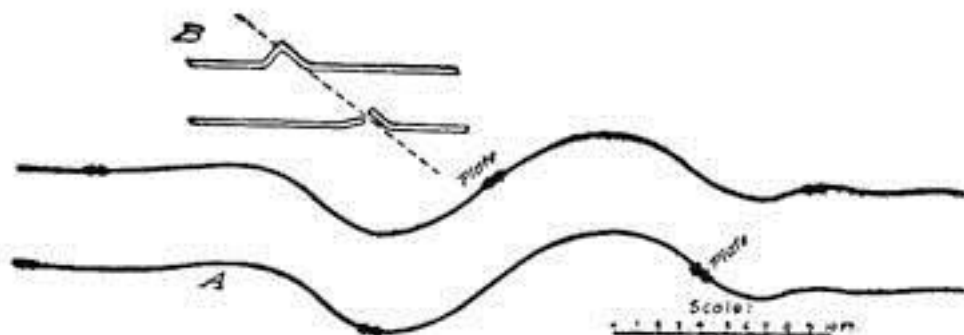


Рис. 64. Диаграммы, показывающие, как разрушаются или прогибаются железнодорожные пути локально в районе, где произошло землетрясение.



Рис. 65. Железнодорожный мост Бивадзима в Японии после землетрясения 1891 года (по Милну и Бертону).

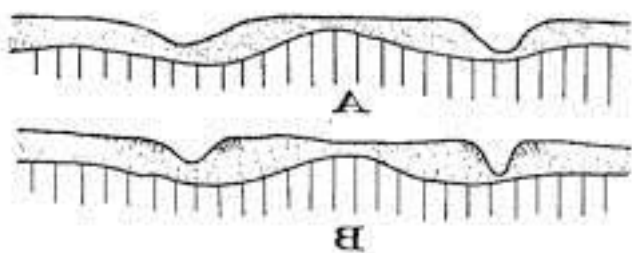


Рис. 66. Диаграммы, показывающие, как сжатие района и его последующее сжатие во время землетрясения могут закрыть стыковые пространства в фундаменте горных пород и сконцентрировать сжатие вышележащей мантии там, где она частично прорезана и поэтому ослаблена на участках долины.

Водопроводные трубы, проложенные в земле на глубине нескольких футов, могут изгибаться в виде арки, выступающей над поверхностью; линии бордюров поднимаются в виде ломаных арок, а рельсы железных дорог образуют локальные петли и изломы, что подразумевает очень значительное локальное сужение поверхности (рис. 64). С неизменной регулярностью железнодорожные или другие мосты, пересекающие реки или овраги, если конструкции серьезно повреждены, указывают на то, что берега рек сблизилась во время нарушения. В таких случаях, когда балка моста оставалась на месте на своих опорах, они были либо сломаны, либо отклонены назад в целом таким образом, чтобы указывать на приближение фундамента, которое было предотвращено наверху жесткостью балки (рис. 65).

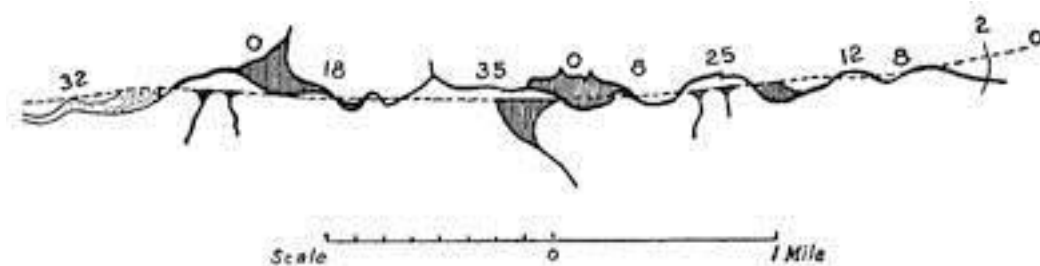


Рис. 67.— Карта разлома Чедранг, возникшего во время землетрясения в Ассаме в 1897 году. На рисунках приведены величины локального вертикального смещения, измеренные в футах (по Р. Д. Олдхэму).

Самое простое объяснение такого сближения насыпей по бокам долин, прорезанных в рыхлом поверхностном материале, заключается в общем заделывании стыковых пространств в подстилающей породе и выравнивании мантии на дне, главным образом, на участках долин (рис. 66).

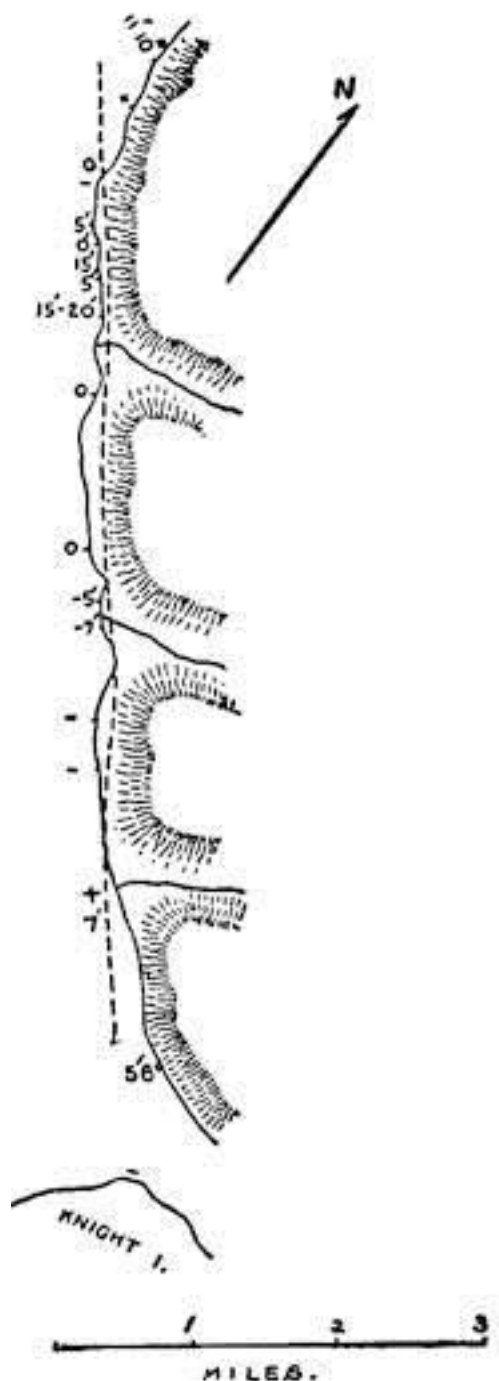


Рис. 68. Карта с указанием перемещений в футах, измеренных вдоль разлома, образовавшегося при землетрясении на Аляске в 1899 году (после Тарра и Мартина).

План разлома при землетрясении.—При нашем рассмотрении сейсмических разломов мы до сих пор уделяли внимание смещению только в одном населенном пункте. Однако такие

смещения продолжают на многие мили, а иногда и на сотни миль; и когда теперь мы изучаем карту или план такой линии разломов, появляются новые факты большого значения. Это может быть хорошо проиллюстрировано изучением плана разлома Чедранг, который появился во время Ассамского землетрясения 1897 года (рис. 67). Из этой карты видно, что смещение вверх или вниз по перпендикулярной плоскости разлома неравномерно, а подвержено большим и *внезапным* изменениям. Таким образом, по порядку измерения в футах следующие 32, 0, 18, 35, 0, 8, 25, 12, 8, 2, 0. Разлом, образовавшийся в 1899 году на берегах Рассел-фьорда на Аляске (рис. 68), обнаруживает аналогичные внезапные изменения наклона, только здесь направление движения часто меняется на противоположное; или, выражаясь иначе, подъем внезапно переносится с одной стороны разлома на другую. Такие резкие изменения направления смещения наблюдались на многих сейсмических разломах, и особенно яркий из них представлен на рис. 69.

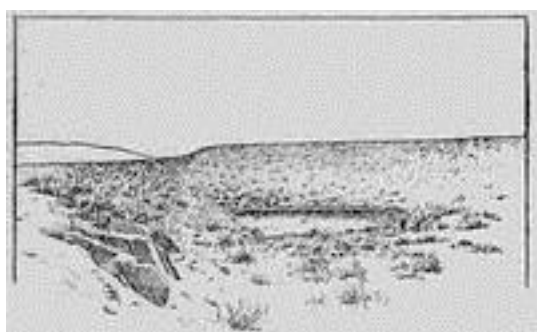


Рис. 69. Резкое изменение направления выброса на сейсмическом разломе, образовавшемся в долине Оуэнс, Калифорния, в 1872 году. Наблюдатель смотрит прямо вдоль разлома с левого переднего плана на утес за ним и слева от затопленной воды (по фотографии У. Д. Джонсона).

Блокирующие движения в нарушенном районе. Таким образом, смещения по сейсмическим разломам подразделяются на участки, каждый из которых отличается от своих соседей по обе стороны и резко отделен от них, по крайней мере, во многих случаях. Эти точки резкого изменения смещения являются, по крайней мере, во многих случаях, точками пересечения с поперечными разломами (рис. 69). Такие точки резкого изменения степени или направления смещения могут быть, если смотреть сверху, точками резкого поворота в направлении расширения разлома, курс которого на карте представлен в виде зигзагообразной линии, состоящей из прямых участков, соединенных острыми изгибами (рис. 70).

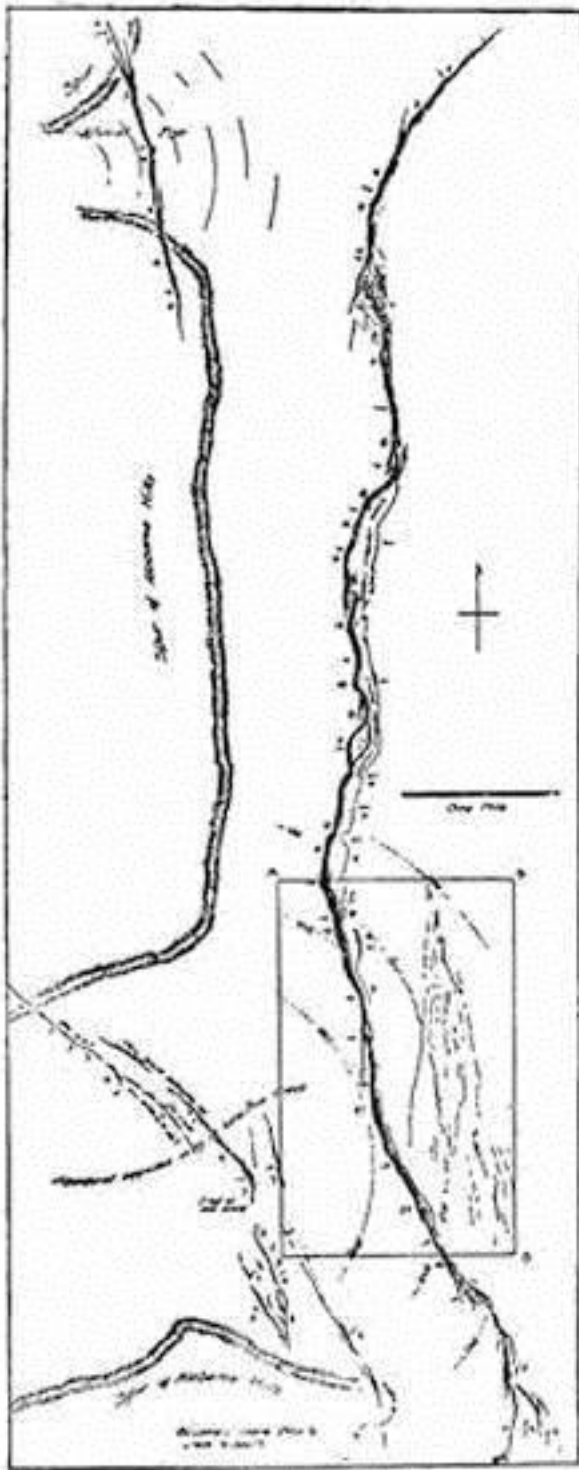


Рис. 70.— Карта разломов в районе долины Оуэнс, Калифорния, образовавшихся частично во время землетрясения 1872 года, а частично из-за ранних нарушений. В западных частях смещения пронизывают твердые породы и аллювиальные отложения одинаково без отклонения направления (по карте У. Д. Джонсона).

Такая группировка поверхностных разломов, представленная на карте, свидетельствует о том, что площадь земной оболочки, которая включена, во время землетрясения подвергалась корректировке в виде ряда отдельных единиц или блоков, определенными границами которых являются представленные линии разломов. Изменения смещения, измеренные на более крупных разломах, ясно показывают, что наблюдаемые разломы могут представлять лишь часть от общего числа линий смещения, остальные замаскированы

изменениями плотности рыхлых мантизированных отложений. Если бы мы только убрали эту мантию, мы, несомненно, обнаружили бы каменный пол, разделенный на части, как древняя помпейская мостовая, отдельные блоки в которой были брошены, некоторые вверх, а некоторые вниз, в различном количестве. Менее чем в ста милях к востоку от долины Оуэнс часть этого покрытия была обнаружена в ходе обширных работ в горнодобывающем районе Тонапа, так что там мы можем изучить во всех деталях сложный узор земляного маркетри (рис. 71), который для дна долины Оуэнс нам пока недоступен.

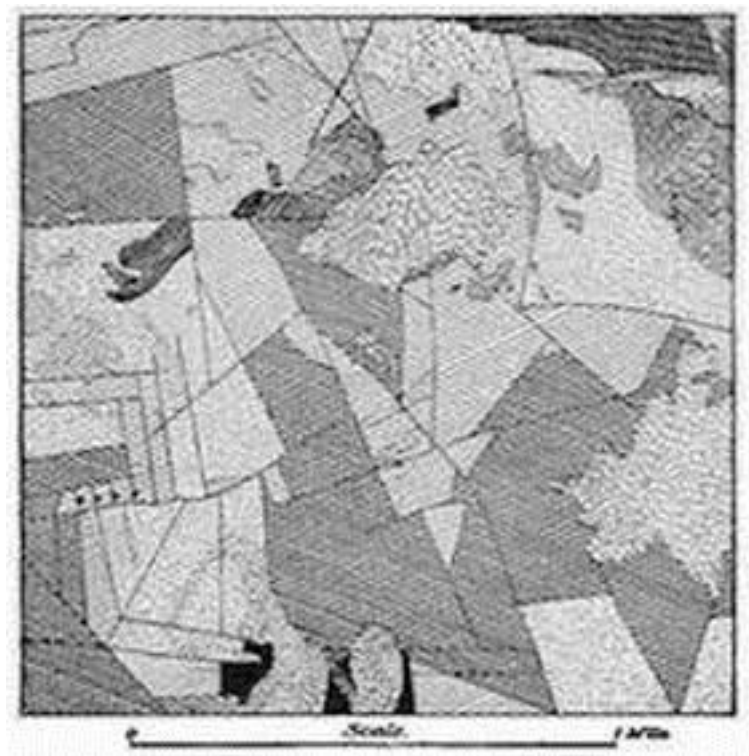


Рис. 71. Маркетри скального дна горнодобывающего района Тонапа, Невада (после отрога).

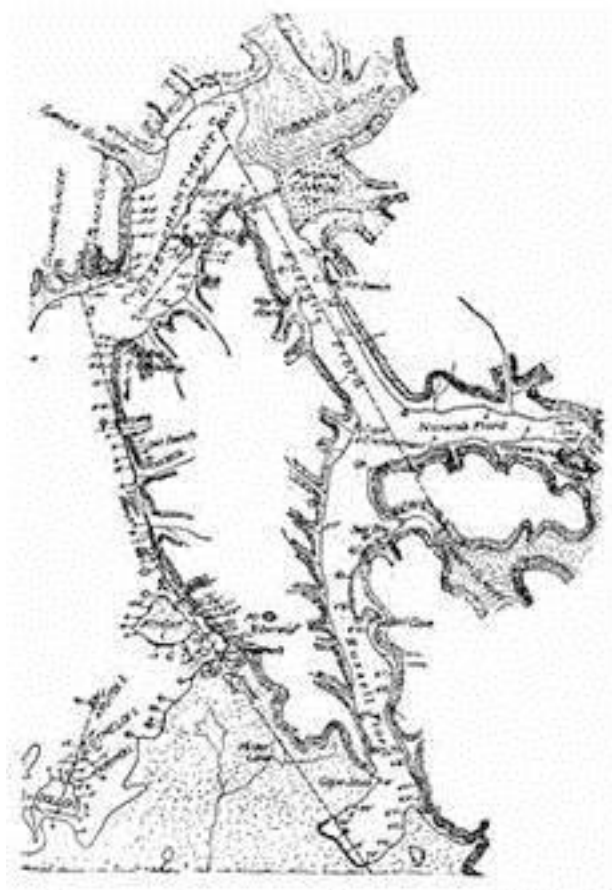


Рис. 72. Карта части побережья Аляски, показывающая изменения уровня во время землетрясения 1899 года (после Тарра и Мартина).

Земные блоки сдвинулись во время землетрясения на Аляске 1899 года.— Для изучения изменений, происходящих между соседними земными блоками во время сильного землетрясения, недавнее возмущение на Аляске дало то преимущество, что наиболее пострадавший район находился на морском побережье, где изменения уровня можно было соотнести с исходной точкой поверхности моря. Здесь большой остров и обширные участки соседнего берега подверглись перемещениям как в целом крупными блоками, так и в перестройке их подчиненных частей между собой (рис. 72). Некоторые участки побережья были здесь приподняты на целых 47 футов, в то время как соседние участки были приподняты на меньшую величину (рис. 73), а некоторые участки меньшего размера даже опустились ниже уровня моря.



Рис. 73. Вид острова Хенке, залив Разочарования, Аляска, на берег, который поднялся на семнадцать футов над уровнем моря во время землетрясения 1899 года и был обнаружен с ракушками, все еще цепляющимися за скалу (после Тарра и Мартина).

Величину такого оседания, однако, трудно установить по той причине, что бывшие береговые элементы теперь покрыты водой и, таким образом, недоступны для наблюдения. В благоприятных местностях иногда можно измерить минимальную степень затопления лесных деревьев, которые в настоящее время затоплены морской водой. На [рис. 74](#) изображен участок побережья, где пляжный песок теперь простирается обратно в еловый лес на расстояние ста футов или более и где прибрежная трава растет среди деревьев, корни которых теперь омыты соленой водой. В передней части этого леса огромные штормовые волны переворачивают деревья и нагромождают обломки перед теми, что еще остались стоять.



Рис. 74. Частично затопленный лес на берегу острова Найд, Аляска, из—за затопления участка побережья во время землетрясения 1899 года (по Тарру и Мартину).



Рис. 75. Поселение на участке берега в Порт—Ройяле, Ямайка, во время землетрясения 14 января 1907 г., рядом с аналогичным, но более крупным поселением на ближнем берегу во время землетрясения 1692 г. (по фотографии Брауна).

На покрытых льдом скальных поверхностях побережья Аляски открываются исключительно благоприятные возможности для изучения сложного рисунка земной мозаики, который корректируется во время землетрясения. На нунатаке Ганнетт была обнаружена поверхность, разделенная параллельными разломами на отдельные участки, которые по отдельности претерпевали небольшие изменения уровня ([фото 3b](#)).

ГЛАВА VIII

ПРЕРЫВИСТЫЙ ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЙ ЗЕМЛИ: ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ТОЛЧКИ (окончание)

Экспериментальная демонстрация движения Земли.—Изучение землетрясения на Аляске 1899 года показало, что во время этого сдвига внутри земной оболочки некоторые из местных блоков сдвинулись вверх и на большую величину, чем их соседи, а третьи были фактически вдавлены, так что море захлестнуло их. Должно быть очевидно, что такие дифференциальные вертикальные перемещения соседних блоков на поверхности земли могут иметь место только в том случае, если под ними производятся боковые перемещения материала. Из-под тех полос прибрежной суши, которые были вдавлены, материал, должно быть, был перемещен таким образом, чтобы заполнить пустоту, которая в противном случае образовалась бы под поднятыми участками. Если мы примем во внимание гораздо более крупные участки на поверхности нашей планеты, то мощные землетрясения, которые сейчас регистрируются сейсмологическими приборами на удаленных станциях, покажут нам, что сегодня под морем происходят большие *нисходящие* движения, которых более чем достаточно, чтобы компенсировать все расширения земной поверхности в тех районах, где суша поднимается в горы. Следует предположить, что при регистрации возмущений происходит перенос грунтового материала из-под прибрежных глубин океана под растущие горы на берегу.

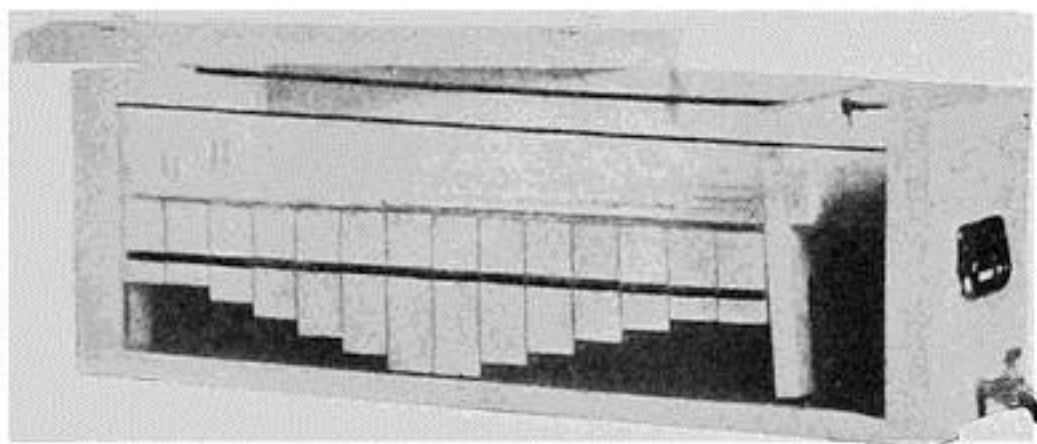
В течение временного интервала, отделяющего внезапные изменения положения поверхности, проявляющиеся при землетрясениях, состояние напряжения, вызывающее их, неуклонно накапливается, как мы обычно предполагаем, из-за сжатия земли из-за потери ею тепла. Представляется вероятным, что сопротивление немедленной регулировке связано с жесткостью корпуса из-за сжатия, которому он подвергается. Для иллюстрации: ряд блоков, хорошо подогнанных друг к другу, можно прочно удерживать в качестве перемычки между губками тисков, потому что, как только каждый блок начинает падать, возникает большое сопротивление из-за трения о его поверхность, сила, которая увеличивается со степенью сжатия.

Таким образом, исходя из этого предположения, можно грубо продемонстрировать регулировку заземляющих блоков с помощью простого устройства, представленного на [рисунке 4а](#). Конструкция этого экспериментального резервуара настолько проста, что не требует особых объяснений. Деревянные блоки разной высоты удерживаются в воде внутри резервуара со стеклянной передней частью и удерживаются в напряженном состоянии, отличном от их естественного положения плавания, путем сжатия простыми тисками сверху. Прочно удерживаемые в этом положении, они, таким образом, могут представлять собой соседние блоки во внешней оболочке земли, которые опираются на относительно податливые материалы под ними и не могут сразу принять свое естественное положение из-за сжатия, которому они подвергаются. В том виде, в каком они находятся сейчас, вода у краев резервуара вытесняется из-под блоков до уровня, превышающего ее естественный уровень, и, таким образом, имеет тенденцию течь с обоих концов к центру. Такое движение позволило бы концевым блокам опуститься и вынудило бы средние подняться. Крайние блоки - это, скажем, участки береговой линии Аляски, затонувшие во время землетрясения, в то время как центральные блоки - это участки, которые поднялись на высоту 47 футов. В

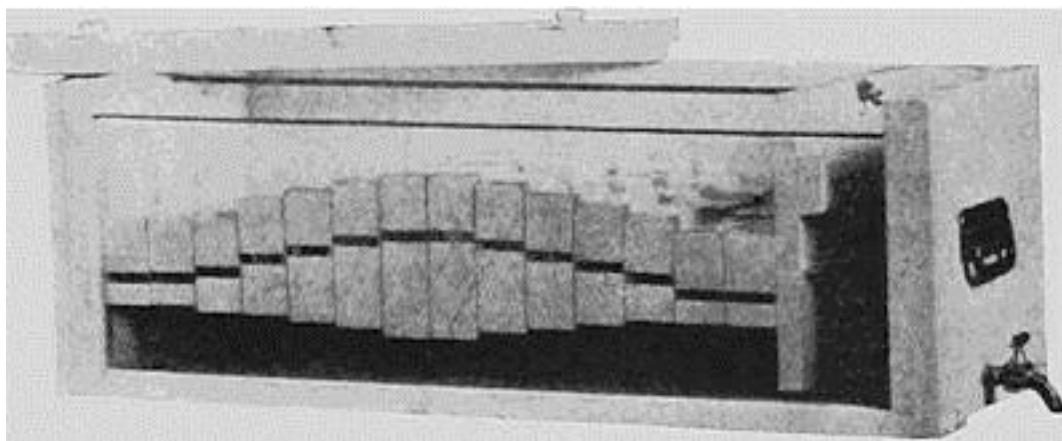
более широком масштабе торцевые блоки с таким же успехом можно рассматривать как дно больших глубин у побережья Аляски, затопление которых во время землетрясения стало причиной большой морской волны. Исходя из этого предположения, центральные блоки представляли бы побережье Аляски, рассматриваемое как единое целое, которое подверглось общему поднятию.

Хотя в нашем эксперименте мы не можем изменять тенденцию к регулировке никакими изменениями сжатия ни в воде, ни в блоках, мы можем уменьшить сжатие тисков, что приводит к тому же общему результату. По мере постепенного ослабления сжатия тисков, наконец, достигается точка, при которой трения о поверхности блока уже недостаточно для предотвращения регулировки, и теперь это происходит внезапно с результатом, показанным на [пластине 4b](#). В случае земляных блоков эта внезапная корректировка сопровождается массовыми перемещениями грунта, разделенного разломами, и эти перемещения вызывают последовательные вибрации, которые особенно велики вблизи границ блоков, и другие вибрации от трения такой малой величины, что обычно воспринимаются только звуками. Толчок при регулировке отбросил некоторые блоки за пределы их естественного положения покоя, и впоследствии они опускаются и поднимаются, чтобы перенастроиться с помощью более легких вибраций, которые могут повторяться и продолжаться в течение некоторого времени. В случае земли эти более поздние изменения представляют собой так называемые *афтершоки*, которые обычно продолжаются в течение значительного периода времени после каждого сильного землетрясения. Постепенно их интенсивность и частота уменьшаются, пока их больше нельзя ощутить, и после этого они продолжают некоторое время только в виде грохота.

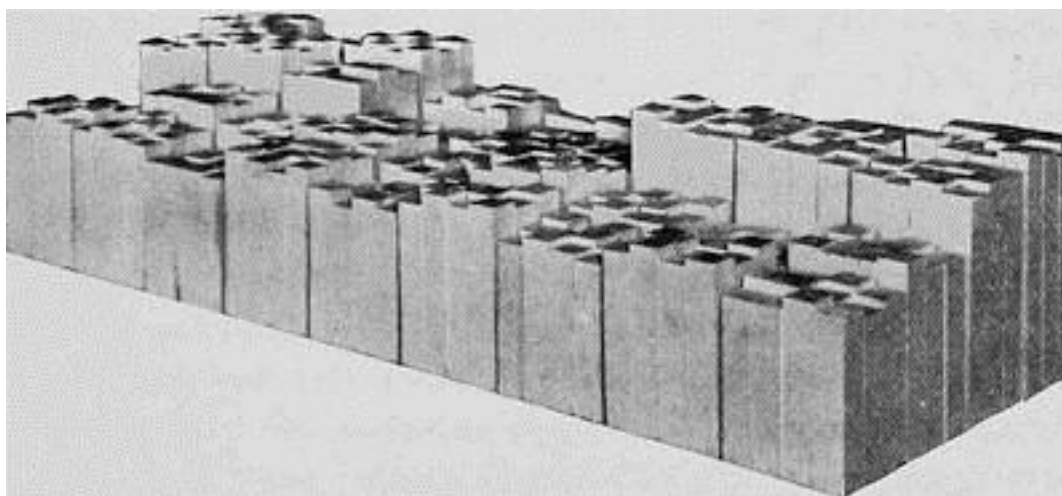
Табличка 4.



А. Экспериментальный резервуар для иллюстрации движений земли, которые проявляются при землетрясениях. Здесь представлены участки земной оболочки до проведения корректировки.



Б. Тот же аппарат после внезапной настройки.



С. Модель, иллюстрирующая смещение блока в горных породах, которые пересекаются основными швами.

Нарушение потока воды из-за движения земли.—Вода, которая поддерживала блоки в нашем эксперименте, представляла собой более подвижную часть вещества земли под ее внешней зоной разлома. Однако поверхностные слои воды в резервуаре можно рассматривать по-другому, поскольку их поведение в значительной степени аналогично поведению воды внутри и на поверхности земли во время выравнивания грунта. В тот момент, когда в резервуаре происходит регулировка, вода часто бьет вверх из щелей между опускающимися концевыми блоками; и если вместо одного из более высоких центральных блоков мы вставим тот, верхняя часть которого находится ниже уровня воды в резервуаре, над ним образуется “озеро”. Когда происходит регулировка, это озеро немедленно осушается за счет оттока воды с его дна по одной из трещин между блоками (рис. 76).

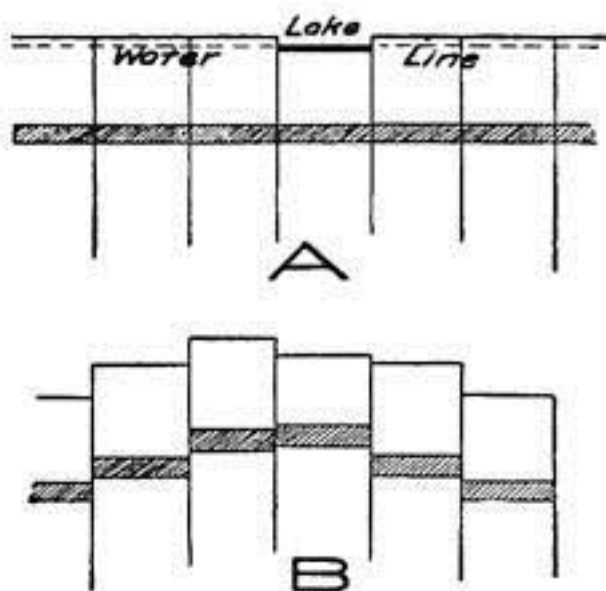


Рис. 76.—Диаграммы, иллюстрирующие осушение озер во время землетрясений.

Такие нарушения потока воды, которые были проиллюстрированы экспериментом, являются одними из наиболее распространенных явлений, сопровождающих землетрясения. Озера и болота во время землетрясений внезапно осушались, были замечены фонтаны воды, бьющие с поверхности и играющие в течение нескольких минут или часов, прежде чем они внезапно исчезли в результате всасывания воды с последующей перестройкой. Во время сильного землетрясения в нижней части долины Миссисипи в 1811 году, известного как землетрясение в Новом Мадриде, более раннее озеро Эулали было полностью осушено, и на ныне обнаженном дне появились параллельные трещины, на которых были расположены воронкообразные отверстия, через которые всасывалась вода. В других частях пострадавшего региона вода пластами поднималась по трещинам к вершинам высоких деревьев. Было показано, что области, где наблюдался такой подъем воды, в большинстве случаев соответствуют зонам депрессии, и такие области иногда оставались затопленными водой. Во время землетрясения в Индии в 1819 году площадь около 200 квадратных миль внезапно затонула и превратилась в озеро.

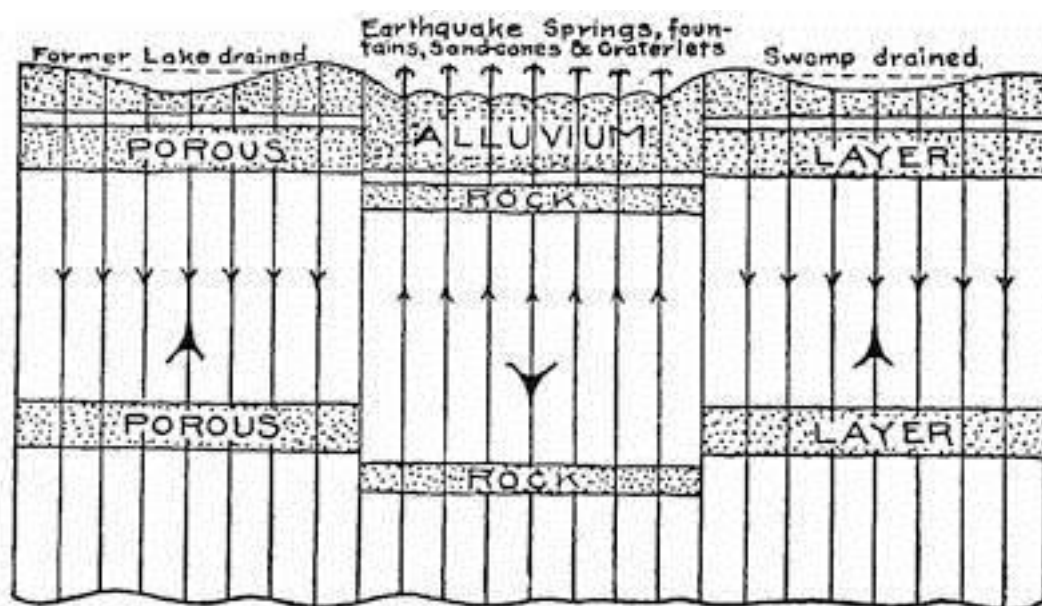


Рис. 77.—Схема для иллюстрации - нарушения потока воды во время землетрясения; вода выходит на поверхность по обрушившимся камням и засасывается вниз поднятыми блоками.



Рис. 78. Конусы грязи, выровненные над трещиной, открытой в Мораце, Сербия, во время землетрясения 4 апреля 1904 г. (в честь Михайловича).

Песчаные или грязевые конусы и кратеры.—От очень умеренной глубины под поверхностью до нескольких миль все поровые пространства и все более крупные отверстия в породе полностью заполнены водой, “магистрали” которой циркулируют через стыки или вдоль плоскостей залегания пород. Основными резервуарами, так сказать, этой воды, заключенной в породе, являются пористые песчаные образования. Теперь, когда во время землетрясения блок земной оболочки внезапно погружается и так же внезапно останавливается в своем движении вниз, результатом является сжатие пористых слоев и, таким образом, выталкивание содержащейся в них воды вверх по стыкам к поверхности, унося с собой большое количество песка (рис. 77).



Рис. 79.— Один из многочисленных кратеров, образовавшихся близ Чарльстона, Южная Каролина, во время землетрясения 31 августа 1886 года. Отверстие имеет двадцать футов в поперечнике, и листья вокруг него покрыты песком, как и листья на ветвях нависающих деревьев высотой около двадцати футов (по Даттону).

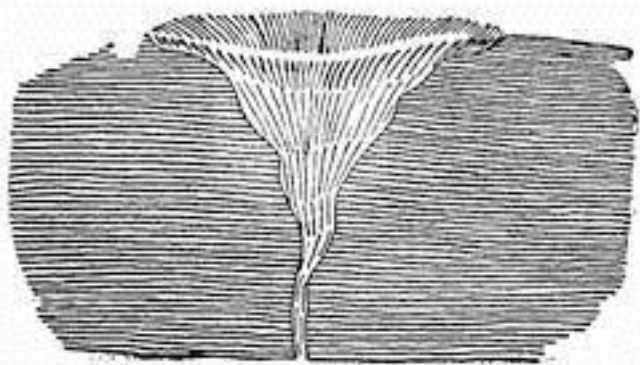


Рис. 80. Поперечный разрез кратера, показывающий трубообразную форму песчаного столба.

Выбрасываемая на поверхность, эта вода образует фонтаны, обычно расположенные в ряд над стыками или даже непрерывными слоями, а песок, собирающийся вокруг струй, образует линии из песка или *грязевых конусов*, которые иногда называют “грязевыми вулканами” (рис. 78). Количество высыпаемого таким образом песка иногда настолько велико, что слой зыбучих песков покрывают большие участки страны. Чаще всего, однако, песок образуется не выше общего уровня поверхности, а образует серию *кратеров*, которые в значительной степени приобретают форму, поскольку вода засасывается вниз во время перестройки, с которой прекращается игра таких сейсмических фонтанов (рис. 79). Последующие раскопки, проведенные около таких кратеров, показали, что они имеют форму трубы, и что в песке, который в значительной степени заполняет их, обычно встречаются чешуйки слюды и такие легкие частицы, которые могли быть выделены из разнородных материалов песчаных слоев и вынесены потоком воды на поверхность (рис. 80).

Зоны сильных землетрясений на земле.—Поскольку землетрясения сигнализируют об изменении уровня грунта, особо опасными зонами из-за этого источника являются растущие горные системы, которые обычно находятся вблизи границ моря. Такие линии гор сегодня возвышаются там, где в течение длительных периодов в прошлом были бассейны отложений бывших морей. Таким образом, они представляют зоны на поверхности земли, которые являются наиболее нестабильными и которые за последний период претерпели наибольшие изменения уровня.

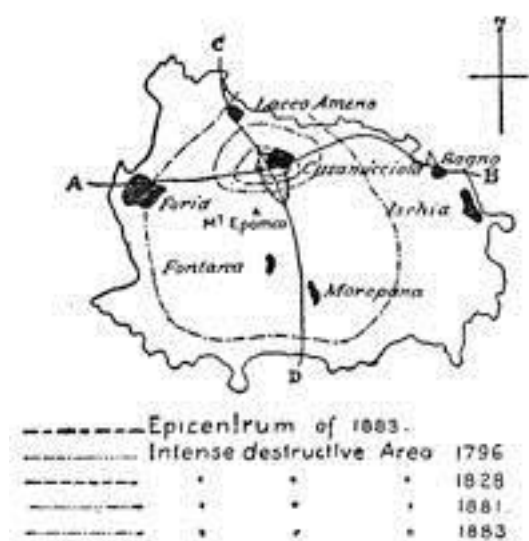


Рис. 81. Карта острова Искья, показывающая, как удары недавних землетрясений были сосредоточены в точке пересечения двух разломов (после Меркалли и Джонстона—Лависа).

Безусловно, наиболее нестабильным поясом на поверхности Земли является край, окружающий Тихий океан, в пределах которого, по оценкам, произошло около 54 процентов зарегистрированных толчков землетрясений. Следующей по важности с точки зрения сейсмической нестабильности является зона, которая граничит как со Средиземным морем, так и с Карибским бассейном - Американское Средиземноморье — и простирается через центральную Азию через Гималаи в Малайзию. Обе зоны напоминают большие круги на поверхности земли и пересекаются друг с другом под углом около 67° . Было подсчитано, что около 95 процентов зарегистрированных континентальных землетрясений произошли в этих поясах.

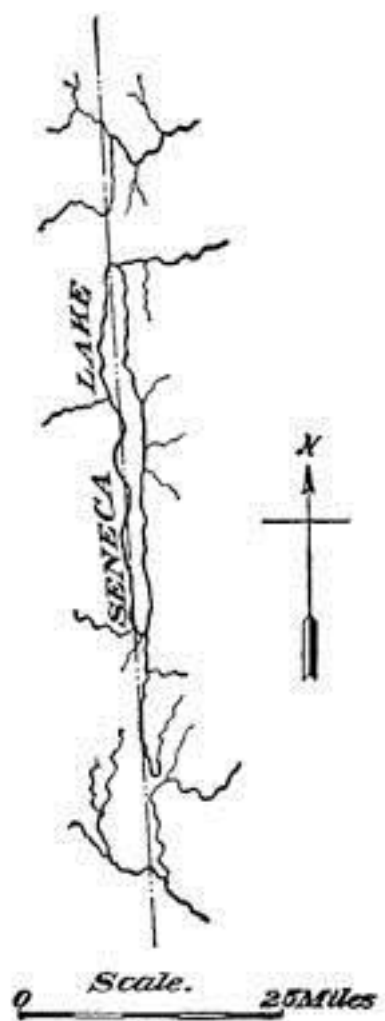


Рис. 82.— Линия разлома грунта, обозначенная на плане рельефа, которая в любой момент может стать очагом движения и вызванного им толчка.

Особые линии тяжелого удара.—В пределах любого района землетрясения толчки ощущаются с одинаковой силой не во всех местах, но, напротив, существуют определенные линии, по которым возмущение, по-видимому, ищет особые повреждения. Исходя из их отношения к рельефу суши, эти линии могут показаться линиями разлома на границах тех участков земной коры, которые играют индивидуальную роль в происходящей корректировке блоков. Поскольку эти линии более или менее замаскированы под округлыми изгибами ландшафта, с каждым последующим землетрясением они приобретают

совершенно незавидную видимость. В такие моменты мы можем думать о поверхности земли как о специально сенсibilизированной для раскрытия ее скрытой структуры, как сенсibilизированная пластинка под магическим воздействием рентгеновских лучей.

Когда во время землетрясения блоки корректируются по отношению к своим соседям, колебательные движения являются наибольшими в тех краевых участках прямого контакта. Углы блоков — точки пересечения важных разломов - по той же причине должны сотрясаться с двойной силой, и это предположение, по-видимому, подтверждается наблюдениями. На острове Искья, недалеко от Неаполитанского залива, толчки от недавних землетрясений были странным образом сконцентрированы вблизи города Казамиччола, который в последний раз был разрушен в 1883 году. Этот несчастный город расположен на пересечении важных разломов, русло которых на острове отмечено многочисленными источниками и суффониями (рис. 81).

Сейсмотектонические линии.— Линии важных разломов грунта, как будет более четко показано в дальнейшем (стр. 227), часто обозначаются с некоторой четкостью прямыми линиями на плане рельефа поверхности (рис. 82). Линии такого рода легко различимы на карте Вест-Индии, и если мы изобразим на ней кружками разного диаметра совокупную интенсивность зарегистрированных землетрясений в различных городах, то окажется, что сильно сотрясенные местности распределены по линиям, нанесенным на рельеф, с наиболее сильно поврежденными местами на их пересечениях (рис. 83). Эти линии исключительной нестабильности известны как *сейсмотектонические линии*— структурные линии землетрясений.

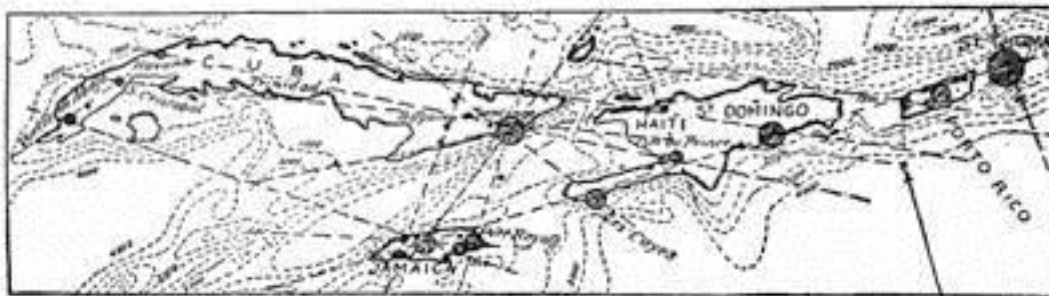


Рис. 83. Сейсмотектонические линии Вест—Индии.

Сильные толчки над рыхлым фундаментом. Для разломов характерно то, что они вскоре скрываются из виду под сыпучими материалами и, таким образом, затрудняют осмотр. Откос, являющийся прямым следствием вертикального смещения разлома, имеет тенденцию мигрировать с места его образования, при этом огибая поверхность и погребая линию разлома под своими отложениями (рис. 43, стр. 60).

Однако это не единственная причина, по которой шаткие фундаменты должны представлять особую опасность во время подземных толчков, поскольку волны от землетрясений распространяются во всех направлениях от поверхностей смещения через среду подстилающей породы. Эти волны распространяются внутри твердой породы на значительные расстояния с лишь постепенным рассеиванием их энергии, но при попадании в рыхлые поверхностные отложения их энергия быстро расходуется в локальных колебаниях большой амплитуды и, следовательно, разрушает здания.

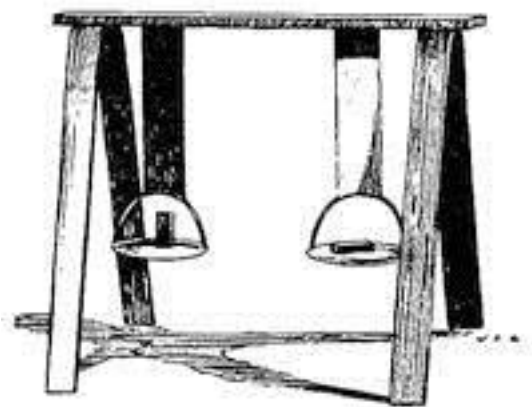


Рис. 84. Устройство для иллюстрации различных воздействий на передачу и характер ударов, которые производятся твердыми породами и сыпучими материалами.

Существенное различие между твердой породой и такими сыпучими материалами, которые встречаются на дне реки или в “искусственных землях” вокруг наших городов, можно проиллюстрировать простым устройством, которое представлено на рис. 84. Два похожих металлических поддона подвешены к прочной опоре с помощью стальных лент и “эластичной” оплетки аналогичного размера и формы, и на конце каждого закреплен небольшой деревянный брус. Аналогичные легкие удары теперь наносятся непосредственно по противням с эффектом опрокидывания того блока, который поддерживается незакрепленной оплеткой из-за большого диапазона или амплитуды движений, которые придаются противню. “Эластичная” оплетка, из-за этих сильных вибраций, которым она подвержена, может представлять собой сыпучие материалы, когда по ним проходит волна землетрясения. В случае стальной опоры энергия удара вместо того, чтобы рассеиваться при локальных колебаниях поддона, в значительной степени передается через эластичный металл находящимся за его пределами материалам. Таким образом, сталь по своей высокой эластичности напоминает более прочную скальную основу, которая принимает и передает землетрясения, но, за исключением случаев разрыва в разломе, подвержена вибрациям только небольшой амплитуды.

Строительство в сейсмоопасных регионах.— Везде, где ощущались землетрясения, они обязательно произойдут снова; и везде, где растут горы или происходят изменения уровня, не требуется никаких записей о прошлых землетрясениях, чтобы спрогнозировать будущую сейсмическую историю. Хотя будущие землетрясения можно предсказать, время их наступления, к счастью или к сожалению, все еще скрыто от нас. Если чей-то жребий выпал на долю в стране, пострадавшей от землетрясения, единственный разумный курс, которого можно придерживаться, - это строить с должным учетом будущих непредвиденных обстоятельств.

Опасность разрушительных пожаров сегодня может быть в значительной степени устранена с помощью методов строительства, которые влекут за собой дополнительное бремя затрат. Хотя опасность от сейсмических возмущений вряд ли может быть устранена в такой же степени, как от пожара, все же верно, что здания могут быть построены таким образом, чтобы выдерживать все, за исключением самых сильных толчков, в непосредственной близости от линий большого смещения. Здесь также требуются значительные дополнительные расходы на метод строительства, особенно в случае жилых домов.

Из сказанного очевидно, что большая часть опасности от землетрясений может быть устранена при выборе участка вдали от линий важных разломов и участков с относительно

рыхлым основанием. Следующим по важности является выбор строительных материалов. Те здания, которые подвержены землетрясениям, в большинстве случаев разрушаются или раскачиваются на части, и, таким образом, они становятся жертвой присущих им свойств инерции. Каждую часть конструкции можно рассматривать как груз, который балансируется на жестком стержне и поворачивается на земле. При ударах каждая часть начинает вибрировать, подобно перевернутому маятнику. Следовательно, по мере того, как грузы становятся большими и опираются на длинные подставки, возрастает опасность опрокидывания и разрыва на части. Как правило, конструкции лучше всего возводить из легких материалов, вес которых сосредоточен вблизи земли. Таким образом, каменные сооружения, особенно высокие, наименее пригодны для сопротивления землетрясениям, о которых мрачным напоминанием является недавнее полное разрушение города Мессина. Несмотря на неоднократные предупреждения в прошлом, здания этого пострадавшего города, как правило, были построены из тяжелого щебня, который, вдобавок, был плохо зацементирован (рис. 49, стр. 67). Такие конструкции обычно сначала разрушаются по краям и углам, поскольку здесь вибрации, которые имеют тенденцию разрушать здание на части, не выдерживаются никакими опорами и повторно усиливаются соседними стенами.



Рис. 85. Дом, потерпевший крушение во время землетрясения в Сан—Франциско в 1906 году из-за того, что полы и перегородки не были надежно прикреплены к стенам (по Р. Л. Хамфри).

Преимущество первой важности, очевидно, обеспечивается, если стержни маятника, из которых, по замыслу, состоит здание, обладают достаточной эластичностью, чтобы подвергаться значительному деформированию без разрыва и снова восстанавливать свое первоначальное положение. Это главное преимущество конструкционной стали для всех крупных зданий, которое, однако, сочетается с недостатком, заключающимся в том, что заклепочные крепления склонны быстро отсоединяться под воздействием вибраций. Большие и высотные здания, когда они достаточно эластичны, к счастью, обладают свойством уничтожать земные волны интерференцией до того, как они пройдут выше нижних этажей.

Для больших конструкций, в которых нельзя использовать древесину, хорошо подходит сильно упрочненный бетон, поскольку он в целом обладает теми же преимуществами, что и сталь, с несколько пониженной эластичностью, но с более эффективным соединением деталей. Это требование тщательного скрепления нескольких частей здания заставляет его вибрировать не как множество маятников, а как единое целое. При соблюдении этого

требования в значительной степени устраняется опасность деформаций стеллажей, и особенно для небольших конструкций это требование выполняется легче всего. Поэтому для таких зданий необходимо, чтобы каркас был построен в виде плотной сети с прочным креплением каждого стыка и надежными соединениями всех частей друг с другом. Особое внимание следует уделить креплениям концов пола и перегородок. Дом, показанный на [рис. 85](#), не мог подвергнуться сильным ударам, поскольку, хотя стены разрушены, полы и перегородки остались на своих первоначальных местах.



Рис. 86. Разрушенное здание в Сан-Матео, Калифорния, во время последнего землетрясения. Тяжелая крыша и верхний этаж, действующие как единое целое, разрушили верхние стены (в честь Дж. К. Браннера).

Эта тенденция стен, полов, перегородок и крыши действовать как отдельные элементы при вибрации - это та, с которой необходимо считаться и бороться с ней с помощью особо эффективных креплений и обвязок в местах соединения. В противном случае эти более крупные части конструкции могут действовать как тараны, обрушиваясь на стены или их части ([рис. 86](#)).

Список литературы для чтения к главам VII и VIII

Общие работы:—

Джон Милн. Сейсмология. Лондон, 1898, стр. 320.

К. Э. Даттон. Землетрясения в свете новой сейсмологии. Патнэм, Нью-Йорк, 1904, стр. 314.

А. Зибег. Handbuch der Erdbebenkunde. Braunschweig, 1904, pp. 362.

Count F. de Montessus de Ballore. Les Tremblements de Terre, Géographie Séismologique. Paris, 1906, pp. 475; La Science Séismologique. Париж, 1907, стр. 579.

Уильям Герберт Хоббс. Землетрясения, введение в сейсмическую геологию. Эпплтон, Нью-Йорк, 1907, стр. 336.

К. Г. Нотт. Физика явлений землетрясений. Издательство "Кларендон Пресс", Оксфорд, 1908, стр. 283.

Э. Рудольф. Ueber Submarine Erdbeben und Eruptionen, Beiträge zur Geophysik, vol. 1, 1887, pp. 133-365; vol. 2, 1895, pp. 537-666; vol. 3, 1898, pp. 273-536.

Описательные сообщения о некоторых важных землетрясениях:—

К. Э. Даттон. Землетрясение в Чарльстоне 31 августа 1886 года, 9-е летоисчисление. Rept. U. S. Geol. Обзор, 1889, с. 203-528.

Б. Котов. О причине Сильного землетрясения в Центральной Японии, 1891, журнал. Сборник научных трудов. Имп. Университет, Токио, Япония, том 5, 1893, стр. 295-353, стр. 28-35.

Джон Милн и У. К. Бертон. Великое землетрясение в Центральной Японии. 1891, стр. 10, стр. 30.

Р. Д. Олдхэм. Отчет о Сильном землетрясении 12 июня 1897 г., Память. Геол. Обзор. Индия. Т. 29, 1899, с. 379, стр. 42.

А. К. Лоусон и другие. Землетрясение в Калифорнии 18 апреля 1906 г., Отчет Государственной комиссии по расследованию землетрясений, три кварто тома. (Вашингтонский институт Карнеги); множество табличек и фигурок.

Итальянское фотографическое общество, Мессина и Реджо до и после землетрясения 28 декабря 1908 года (интересная коллекция фотографий). Флоренция, 1909.

Р. С. Тарр и Л. Мартин. Недавние изменения уровня в районе залива Якутат, Аляска, Булл. Геол. соц. Ам., т. 17, 1906, с. 29-64, стр. 12-23.

Уильям Герберт Хоббс. Землетрясение 1872 года в долине Оуэнс, Калифорния, Справочник по геофизике, том 10, 1910, стр. 352-385, pls, 10-23.

Неисправности в связи с землетрясениями:—

Уильям Х. Хоббс. О некоторых принципах сейсмической геологии, Руководство по геофизике, том 8, 1907, главы iv-v.

Расширение или сжатие земной поверхности во время землетрясений:—

Уильям Х. Хоббс. Исследование повреждений мостов во время землетрясений, журн. Геол., т. 16, 1908, с. 636-653; Эволюция и перспективы сейсмической геологии, Сборник научных трудов, т. 48, 1909, с. 27-29.

Сейсмостойкость конструкции:—

Джон Милн. Строительство в странах, подверженных землетрясениям, пер. с англ. Seis. Soc., Япония, том 14, 1889-1890, стр. 1-246.

F. de Montessus de Ballore. L'art de bâtir dans les pays à tremblements de terre (34th Congress of French Architects), L'Architecture, 193 Année, 1906, pp. 1-31.

Гилберт, Хамфри, Сьюэлл и Суле. Землетрясение и пожар в Сан-Франциско 18 апреля 1906 г. и их влияние на конструкции и конструкционные материалы, Bull. 324, U. S. Geol. Обзор, 1907, с. 1-170, стр. 1-57.

Уильям Х. Хоббс. Строительство в странах, подверженных землетрясениям, Инженерный журнал, том 37, 1909, стр. 1-19.

Льюис Олден Эстес. Сейсмостойкое строительство - обсуждение влияния землетрясений на конструкцию зданий с особым упором на конструкции из армированного бетона, опубликованное компанией Trussed Concrete Steel Company. Детройт, 1911, стр. 46.

ГЛАВА IX

ПОДЪЕМ РАСПЛАВЛЕННОЙ ПОРОДЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ГОРЫ ВЫДЕЛЕНИЯ

Распространенные заблуждения о вулканах.— Более или менее распространенное представление о том, что вулкан - это “горящая гора” или “дымящаяся гора”, во многом подкреплялось школьными текстами по физической географии, использовавшимися в более ранний период. Следовательно, лучшим введением к обсуждению вулканов является разочарование в этом понятии. При извержении вулкана не только не происходит горения или дымления, но обычно вообще не происходит горения. У неискушенного туриста, который, глядя из Неаполя, видит шапку пара, нависающую над Везувийским кратером с коричневым оттенком, легко создается впечатление, что материал облака - дым. Еще более трудно избавиться от впечатления, что наблюдаешь прерывистое горение внутри кратера, ночью, когда яркое свечение отражается в его глазу и вскоре гаснет, только чтобы снова ярко вспыхнуть по прошествии нескольких мгновений. Облако, которое уплывает от гребня горы, на самом деле состоит из пара, к которому примешана большая или меньшая доля мелкого каменного порошка, придающего облаку коричневатый оттенок. Свечение, наблюдаемое ночью, является всего лишь отражением от расплавленной лавы внутри кратера, и изменение его яркости объясняется попеременным подъемом и опусканием поверхности лавы в результате процесса, который в настоящее время предстоит объяснить.

При извержениях вулканов не только не происходит горения, но, поскольку вулкан является горой, он является продуктом своего собственного действия. Самые грандиозные извержения вулканов вообще не породили гор, а только обширные равнины или плато из консолидированной расплавленной породы, и каждая вулканическая гора в какой-то момент своей истории поднималась над относительно ровной поверхностью.

Когда сформировались традиционные представления о вулканах, предполагалось, что твердая земля - это всего лишь “кора”, покрывающая все еще расплавленный материал. Как уже указывалось в более ранней главе, эта точка зрения более не выдерживает критики, поскольку теперь мы знаем, что состояние вещества в недрах земли, хотя, возможно, и не сравнимо напрямую ни с одним из известных, все же обладает свойствами, наиболее напоминающими известное вещество в твердом состоянии; оно намного более твердое, чем самая лучшая инструментальная сталь. Хотя под действующими вулканами должны быть резервуары расплавленной породы, тем не менее ясно, что они небольшие, локальные и временные. Это показано сравнительным изучением выходов вулканов в пределах любого ограниченного района.

Возможно, нелегко сформулировать определение вулкана, но его существенная часть, вместо того чтобы быть горой, скорее представляет собой жерло или канал, который открывает связь между подземным резервуаром расплавленной породы и поверхностью земли. Извержение происходит всякий раз, когда происходит подъем этого материала вместе с большим или меньшим количеством пара и смешанных газов на поверхность. Такая расплавленная порода, выходящая на поверхность, называется *лавой*. Изменения давления на этот материал во время его подъема вызывают вторичные явления по мере приближения к поверхности, и эти проявления часто внушают самый благоговейный трепет. Хотя такие явления часто бывают локально разрушительными, геологическое значение таких явлений из-за их ужасающего аспекта, вероятно, сильно преувеличено.

Ранние виды вулканических гор.— Как уже указывалось, вулкан при его зарождении - это вовсе не гора, а всего лишь, так сказать, шахта или канал сообщения между поверхностью и подземным резервуаром расплавленной породы. В результате выноса этой расплавленной породы на поверхность образуется локальное возвышение, которое может быть обозначено как гора, за исключением случаев, когда объем материала настолько велик и распространяется на такие расстояния, что образуется равнина (см. Трещинные извержения ниже).

На заре истории геологии великий немецкий геолог фон Бух и его друг и коллега фон Гумбольдт придерживались мнения, что вулканическая гора образовалась примерно таким же образом, как волдырь на теле человека. Жидкости, которые выталкивают кутикулу в пузыре, были здесь заменены текучей породой, которая подняла слои осадочных пород на поверхность в виде купола или насыпи, открытой сверху, — так называемого *кратера*. Эта теория вулканов “возвышение-кратер” долгое время удерживала господствующую позицию в геологической науке, хотя и игнорировала тот очевидный факт, что слои на склонах вулканических конусов состоят вовсе не из осадочных пород, а, наоборот, из вулканических материалов, которые поднимаются на поверхность во время извержения. Однако наблюдательная фаза науки только начиналась, и английские геологи Скроуп и Лайелл смогли показать, изучая вулканические горы, что насыпь вокруг жерла вулкана образовалась из-за скопления некогда расплавленной породы, которая была либо выделена, либо выброшена. Используя данные, полученные в Новой Зеландии, Скроуп показал, что осадочные слои в окрестностях вулканической горы могут не подниматься, а опускаться вблизи жерла вулкана (рис. 87).



Рис. 87. Разрушенный вулканический конус близ Окленда, Новая Зеландия, показывающий изгиб осадочных слоев в окрестностях жерла (после Хифи и Скроупа).

Рождение вулканов.—Чтобы подтвердить впечатление, что образование вулканической горы на самом деле является вторичным явлением, связанным с извержениями, мы можем привести наблюдаемое рождение ряда вулканов. 20 сентября 1538 года на границе древнего озера Лукрин к западу от Неаполя поднялся новый вулкан, с тех пор известный как Монте

Нуово (новая гора). Эта небольшая гора достигала высоты 440 футов, и ее до сих пор можно увидеть на берегу Неаполитанского залива. В Мексике было зарегистрировано рождение нескольких новых вулканов: Йорулло в 1759 году, Почутла в 1870 году, а в 1881 году новый вулкан в горах Аджуско примерно на полпути между Мексиканским заливом и Тихим океаном. Последним из новых вулканов является тот, что поднялся в Японии 9 ноября 1910 года в связи с извержением Усу-сан. Эта “Новая гора” достигала высоты 690 футов.



Рис. 88.—Вид на новый вулкан Камигуин с моря. Он образовался в 1871 году на почти ровной равнине. Справа у берега виден город Катарман (по неопубликованной фотографии профессора Дина К. Вустера).

Согласно описанию фон Гумбольдта, Йорулло поднялся ночью 28 сентября 1759 года из трещины, которая открылась на широкой равнине в точке, удаленной на 35 миль от любого существовавшего в то время вулкана. Самый замечательный из новых вулканов поднялся в 1871 году на острове Камигуин к северу от Минданао в Филиппинском архипелаге. Эта гора была посещена *Челленджерской* экспедицией в 1875 году, и впервые была поднята и изучена тридцать лет спустя группой под руководством профессора Дина К. Вустера, министра внутренних дел Филиппинских островов, которому автор обязан этим описанием и прилагаемой иллюстрацией этого крупнейшего и интереснейшего из новорожденных вулканов. Как и в случае с Йорулло, извержение началось с образования трещины на ровной равнине, примерно в 400 ярдах от города Катарман (рис. 88). Извержение продолжалось в течение четырех лет, по истечении которых высота вершины была оценена экспедицией “Челленджер” в 1900 футов. Во время первого восхождения в 1905 году высота была определена анероидом как 1750 футов, с острыми скальными вершинами, выступающими примерно на 50 или 75 футов выше.

Действующие и потухшие вулканы.—Термины “действующий” и “потухший” вошли в более или менее обиходное употребление соответственно для описания тех вулканов, которые проявляют признаки эруптивной активности, и тех, которые в данный момент не активны. Термин “бездействующий” применяется к вулканам, которые недавно активизировались и предположительно находятся в сомнительно потухшем состоянии. Говорят, что из хорошо известного вулкана в окрестностях Неаполя вулканы, которые больше не извергают лаву или шлак, но выделяют газообразные эманации (*фумеролы*), находятся в *сольфатарном* состоянии или проявляют *сольфатарную* активность.

Опыт показывает, что термин “вымерший”, хотя и полезен, всегда следует толковать как явно вымерший. Это может быть проиллюстрировано историей Везувия, кратер которого до христианской эры был покрыт лесом и не проявлял никаких признаков активности; и на самом деле известно, что в течение нескольких столетий не происходило извержения вулкана. После предвестника землетрясения, произошедшего в 63 году, гора подверглась грандиозному взрывному извержению в 79 году нашей эры. Это извержение коренным образом изменило облик горы и скрыло из виду города Помпеи, Стабеи и Геркуланум. И снова, на этот раз в средние века, в течение почти пяти столетий (с 1139 по 1631 год)

наблюдалось полное бездействие, если не считать небольшого извержения пепла в 1500 году. Во время этого периода покоя кратер снова покрылся лесом, но покой внезапно прервало одно из самых грандиозных извержений в истории горы.

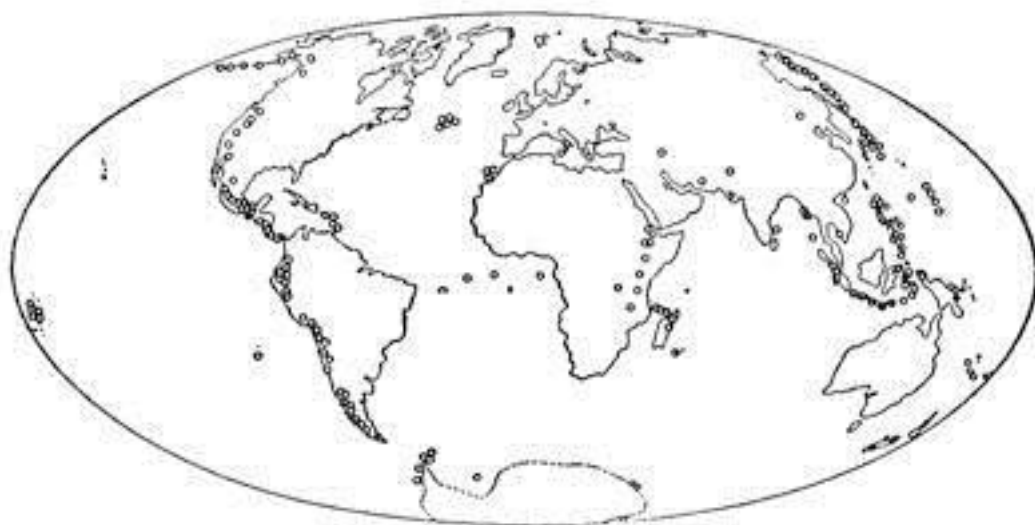


Рис. 89.— Карта, показывающая расположение поясов действующих вулканов.

Пояса вулканов Земли.—Распределение вулканов неоднородно, но, напротив, вулканические жерла появляются в определенных зонах или поясах, либо на окраинах континентов, либо включаются в океанические области (рис. 89). Наиболее важный из этих поясов опоясывает Тихий океан и представлен либо цепями, либо более широко расположенными вулканическими горами по всей Кордильерской горной системе Южной и Центральной Америки и Мексики, вулканами Побережья и Каскадными хребтами Северной Америки, украшенной гирляндами вулканической цепью Алеутских островов и аналогичными островными дугами у восточного побережья Евразийского континента. Далее пояс продолжается через острова Малайзия до Новой Зеландии, а на южной окраине Тихого океана находятся вулканы Земли Виктории, Земли Короля Эдуарда и Западной Антарктиды.

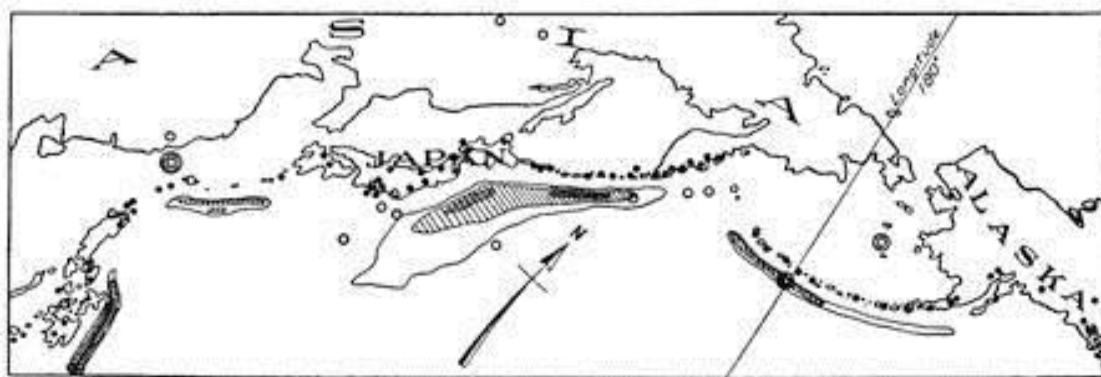


Рис. 90. Часть “огненного пояса” Тихого океана, показывающая связь цепей вулканических гор с глубинами соседнего океанского дна.

Этот вулканический пояс ни в коем случае нельзя назвать совершенным, поскольку в дополнение к основным гирляндам на западной границе есть много второстепенных, и все же другие дуги находятся значительно ближе к центру океанической области. Другой широкий пояс вулканов граничит со Средиземным морем и простирается на запад, в

Атлантический океан. Более узкие пояса встречаются как в северной, так и в южной частях Атлантического океана, на окраинах Карибского моря и т.д. Наиболее важным фактом в распределении, по-видимому, является то, что полосы действующих вулканов встречаются везде, где горные хребты проходят параллельно глубоким слоям на дне соседнего океана (рис. 90). Как уже указывалось в главе о землетрясениях, именно такие места, как эти, являются очагами землетрясений; это зоны земной коры, которые в настоящее время претерпевают наиболее быстрые изменения уровня. Таким образом, подъем суши в горы происходит одновременно с опусканием морского дна с образованием соседних глубин.



Рис. 91. Вулканические конусы, образовавшиеся в 1783 году над трещиной Скаптар в Исландии (после Хелланда).

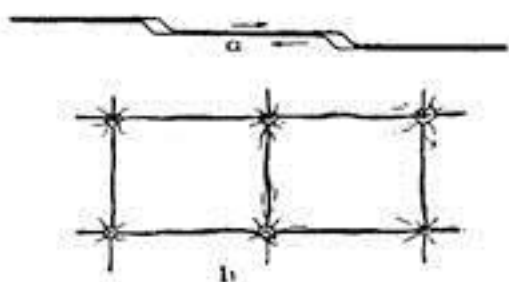


Рис. 92. Диаграммы, иллюстрирующие расположение вулканических жерл на линиях трещин: *a* — отверстия, образованные боковым перемещением стенок трещин; *b* — отверстия, образованные на пересечениях трещин.

Расположение вулканических жерл вдоль трещин и особенно на их пересечениях.—В тех районах, в которых вулканы находятся на значительном расстоянии от своих соседей, закон их расположения трудно расшифровать, но мнение о том, что жерла вулканов расположены над трещинами, в настоящее время подтверждается таким количеством доказательств, что можно привести иллюстрации из многих регионов. Исключительно совершенная линия маленьких конусов прослеживается вдоль расщелины Скаптар в Исландии, на которой возвышается большой вулкан Лаки. Эта трещина вновь открылась в 1783 году, и были выброшены огромные объемы лавы. Над расщелиной осталась длинная линия вулканических конусов (рис. 91). В Исландии есть две доминирующие серии параллельных трещин одинакового характера, которые имеют свои направления соответственно с северо-востока на юго-запад и с севера на юг. Многие такие трещины прослеживаются на поверхности в виде глубоких и почти прямых расщелин или *гьяс*, обычно шириной в несколько ярдов, но простирающихся на многие мили. Эльджья имеет длину более 18 английских миль и глубину от 400 до 600 футов. На некоторых из этих трещин лава не поднималась на поверхность, в то время как другие во многих местах источали расплавленную породу. Иногда только один конец трещины, более широко зияющий участок, снабжал каналы для расплавленной лавы. Это хорошо иллюстрируют покрытые кратерами выступы, поднятые обыкновенным муравьем над трещинами, разделяющими блоки цементного тротуара, причем бугорки расположены там, где был найден наиболее благоприятный канал для подъема материалов.

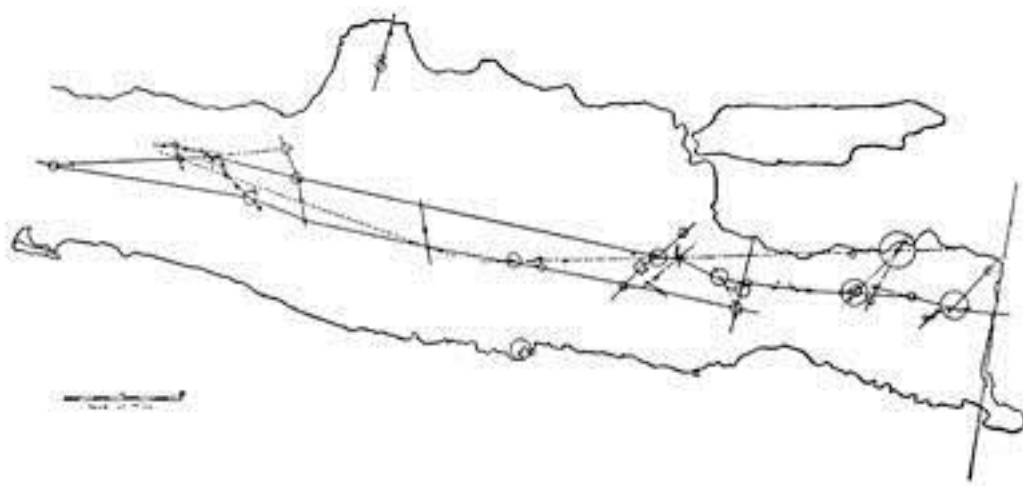


Рис. 93. Схема восточной части острова Ява, показывающая расположение вулканических жерл в соответствии с трещинами и более крупными горами на пересечениях трещин (после Вербика).

Те места на трещинах, которые становятся каналами лавы, по-видимому, являются теми, где расщелина зияет шире всего, образуя самый широкий канал. Везде, где произошло дифференциальное боковое смещение стен, отверстия будут обнаружены вблизи каждого незначительного отклонения от прямой линии (рис. 92 а). Везде, где есть два или более ряда трещин, и это, казалось бы, нормальное состояние, на пересечениях трещин возникают места, благоприятные для лавовых каналов. В таких настоящих вулканических садах, какие можно найти в Малайзии, закономерность распределения вулканов стала очевидной, как только были подготовлены точные карты. Таким образом, контурная карта части острова Ява (рис. 93) показывает нам, что, хотя вулканы острова на первый взгляд представляют собой более или менее неправильную полосу или зону, существует ряд трещин, пересекающихся сетью, и что вулканы выровнены по трещинам с более крупными конусами, расположенными на пересечениях. Точно так же и в Исландии, великое извержение вулкана Аскья в 1875 году произошло на пересечении двух линий трещин.

За пределами этих плотно упакованных вулканических регионов отмечены аналогичные, хотя и менее заметные сети; как, например, в Гвинейском заливе и вблизи него. Если теперь, вместо уменьшения масштаба наших карт вулканов, мы увеличим его, то тот же закон распределения проявится не менее отчетливо. Монтикулы, или маленькие вулканические конусы, которые образуются на склонах более крупных вулканических гор, также построены над трещинами, которые, как неоднократно наблюдалось, открываются и на них образуются конусы.

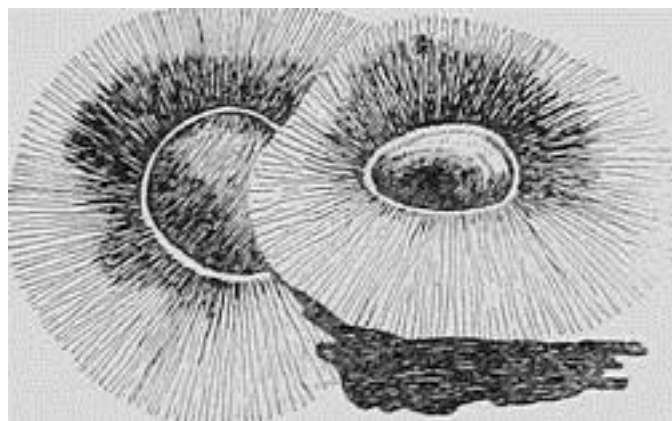


Рис. 94.— Карта Пюи Париу в Оверни в центральной Франции. Очаг извержения переместился вдоль трещины, на которой был построен более ранний конус (после Скапа).

Еще больше сокращая область наших исследований и рассматривая на данный момент “замороженную” поверхность кипящей лавы внутри котла Килауэа, мы видим, что при наблюдении ночью во всей красе обнаруживается внезапное образование трещин в земной коре с появлением миниатюрных вулканов, поднимающихся последовательно через более или менее равные промежутки времени вдоль них.

Нередко случается, что после образования вулканического жерла над каким-либо каналом в трещине канал перемещается вдоль трещины, создавая таким образом новый конус при более или менее полном разрушении старого (рис. 94).

Так называемые трещинные извержения.— Самыми грандиозными из всех вулканических извержений были те, при которых трещины по всей длине и ширине служили проходом для поднимающейся вверх лавы. Такие грандиозные извержения были по большей части доисторическими, а в более поздней геологической истории происходили главным образом в Индии, Абиссинии, северо-западной Европе и на северо-западе Соединенных Штатов. В западной Индии необычно горизонтальные плато базальтовой лавы, декканские траппы, занимают площадь около 200 000 квадратных миль и имеют глубину более мили. Нижележащий фундамент, где он выступает по краям базальта, во многих местах пересечен дамбами или заполнителями трещин из того же материала. Никаких конусов или определенных отверстий обнаружено не было.



Рис. 95. Базальтовое плато на северо—западе США из-за трещинных извержений лавы.

Большая часть северо-западных Британских островов, по-видимому, когда-то была аналогичным образом покрыта почти горизонтальными слоями базальтовой лавы, которые простирались на северо-запад через море через Оркнейские и Фарерские острова до Исландии. Остатки этого обширного плато сегодня встречаются во всех островных группах, а также на обширных территориях северо-восточной Ирландии, и заполнение трещин тем же материалом встречается на обширных территориях Британских островов. Во многих случаях эти дамбы представляют собой некогда расплавленную породу, которая, возможно, никогда не выходила на поверхность во время излияния лавы, однако они хорошо иллюстрируют то, что мы могли бы ожидать найти, если бы убрали базальтовые слои Исландии или Ирландии.

Потоки базальтовой лавы, образовавшие на северо-западе Соединенных Штатов бесплодное плато Каскадных гор (рис. 95), по-видимому, представляют собой еще один

пример трещинного извержения, хотя на поверхности появляются конусы и, возможно, указывают на положение выходов лавы на более поздних фазах эруптивного периода. О бесплодии и запустении этих лавовых равнин свидетельствует [рис. 96](#).



Рис. 96. Лавовые равнины около реки Снейк в штате Айдахо.

Хотя более мощные излияния лавы происходили в доисторические времена, и способ выдавливания в значительной степени определялся огромным объемом выделившихся материалов и существованием базальтовых даек в соседних регионах, все же в Исландии мы можем наблюдать связь между дамбами и выходами лавы. Профессор Торродсен заявил, что на большом базальтовом плато Исландии лава спокойно вытекала по всей длине трещин и часто с обеих сторон, не приводя к образованию конусов. На трех более широких участках расщелины большого Поля лава вытекала спокойно, без образования конусов, хотя здесь, в южном продолжении трещины, где она была более узкой, появился ряд низких шлаковых конусов. Там, где произошли выбросы лавы, была затоплена площадь в 270 квадратных миль.

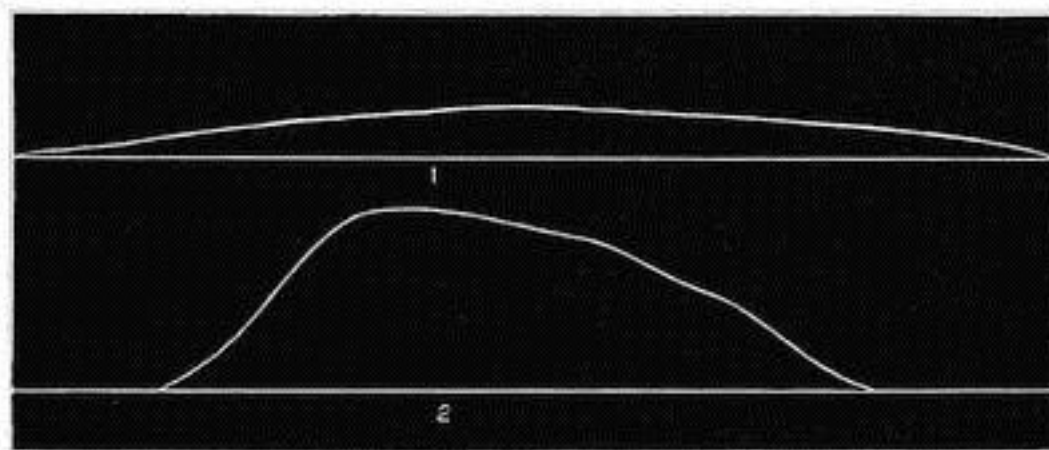


Рис. 97.—Характерные профили лавовых вулканов. 1, гора базальтовой лавы; 2, гора кремнистой лавы (по Джадду).

Состав и свойства лавы.—При нашем изучении магматических пород (глава IV) было выяснено, что они состоят по большей части из силикатных минералов и что по своему химическому составу они представляют различные пропорции кремнезема, оксида алюминия, железа, магнезии, извести, поташа и соды. Наиболее распространенным из этих компонентов является диоксид кремния, содержание которого колеблется от 35 до 70% от

общего количества. Всякий раз, когда содержание кремнезема относительно низкое, — в основной или базальтовой лаве, — остывшая порода имеет темный цвет и относительно тяжелую. Она плавится при относительно низкой температуре и, как следствие, является относительно текучей при температурах, которые обычно имеют лавы, достигающие поверхности земли. Кроме того, из-за большей текучести вода, которая почти всегда присутствует в большом количестве в лаве, легче выходит на поверхность. По этой причине извержения такой лавы не имеют бурных проявлений, которые присущи экструзиям более кремнистых (более “кислых”) лав. По той же причине базальтовая лава течет более свободно и может распространиться гораздо дальше, прежде чем она достаточно остынет для уплотнения. Это равносильно утверждению, что его поверхность примет более плоский угол наклона, который в случае базальтовой лавы редко превышает десять градусов и может быть меньше одного градуса (рис. 97).

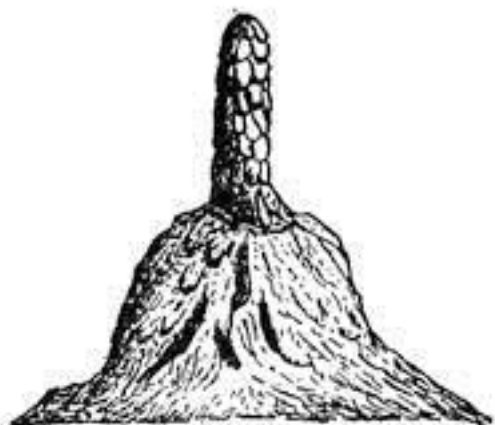


Рис. 98. Конус для капель (по Дж. Д. Дане).

Кремнистые лавы, с другой стороны, при уплотнении относительно легки как по цвету, так и по весу и плавятся при относительно высоких температурах. Таким образом, они обычно лишь частично расплавляются и имеют вязкую консистенцию, когда достигают поверхности земли. Из-за такой вязкости они оказывают большое сопротивление высвобождению содержащейся в них воды, которая, следовательно, высвобождается только под аккомпанемент более или менее сильных взрывов. Лава выбрасывается в воздух и обычно выпадает в виде уплотненных фрагментов различной степени крупности.

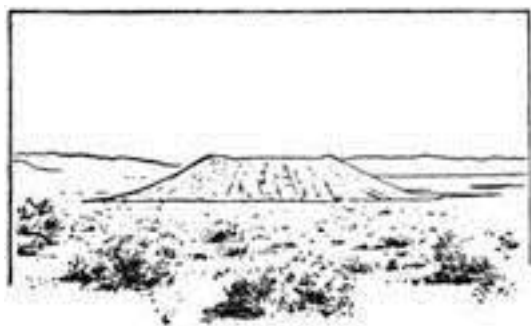


Рис. 99. Вид кратера Леффингуэлл, шлакового конуса в долине Оуэнс, Калифорния (по неопубликованной фотографии У. Д. Джонсона).

Однако не следует предполагать, что температура лавы всегда одинакова, когда она достигает поверхности, и, следовательно, может случиться так, что кремнистая лава выделяется при настолько высокой температуре, что ведет себя как обычная базальтовая

лава. С другой стороны, базальтовые лавы могут экструдироваться при необычно низких температурах, и в этом случае их поведение может напоминать поведение обычных кремнистых лав. Однако, если, как это обычно бывает, энергия взрыва базальтовой лавы относительно невелика, любые выброшенные порции жидкой лавы поднимаются на умеренную высоту только в воздухе, так что при падении они все еще остаются достаточно пастообразными, чтобы прилипнуть к поверхности породы и, таким образом, образовывать удивительно крутые конусы и выступы, известные как “конусы брызг” или “конусы капель” (рис. 98). Когда, с другой стороны, энергия взрыва велика, как это обычно бывает с кремнистыми лавами, порции выброшенной лавы полностью уплотняются перед их падением на поверхность, так что они образуют скопления того же типа, что и песок, выпадающий таким же образом. Структуры, которые они образуют, известны как конусы из туфа, шлаков или золы (рис. 99).

Всякий раз, когда содержащаяся вода выходит из кремнистых лав без сильных взрывов, лава может вытекать из жерла, но, в отличие от базальтовых лав, она проходит небольшое расстояние только перед тем, как затвердеть. В результате получается пропорционально высокая и крутая гора (рис. 97). Извержения, характеризующиеся сильными взрывами, сопровождающимися выпадением золы, описываются как *взрывные* извержения. О тех извержениях, которые протекают относительно спокойно и при которых основным продуктом являются потоки текущей лавы, говорят как об *конвульсивных* извержениях.

Три основных типа вулканических гор.—Если извержения в жерле вулкана относятся исключительно к взрывному типу, то материал горы, которая образуется в результате, состоит исключительно из туфа или шлака, и вулкан описывается как *шлаковый конус*. С другой стороны, если при каждом извержении из жерла выбрасывается лава, образуется гора из твердых пород, которая представляет собой *лавовый купол*. Это, однако, исключение для вулкана, который имеет долгую историю проявления только одного вида извержения. В одно время лава выделяется сравнительно тихо, в другое время от силы, с которой выделяется пар, остается только зола, а гора представляет собой смесь этих двух материалов и известна как *составной вулканический конус*.

Лавовый купол.—Когда из кратера вытекают последовательные потоки лавы, образующаяся структура имеет форму более или менее совершенного купола. Если лава базальтового или флюидного типа, склоны пологие, редко образующие угол более десяти градусов к горизонту и более плоские к вершине (рис. 101, стр. 106). С другой стороны, если это кремнистая или вязкая лава, склоны соответственно крутые, а в некоторых случаях и обрывистые. К этому последнему классу принадлежат некоторые из *куппенов* Германии, *пюи* центральной Франции и *мамелонов* острова Бурбон.

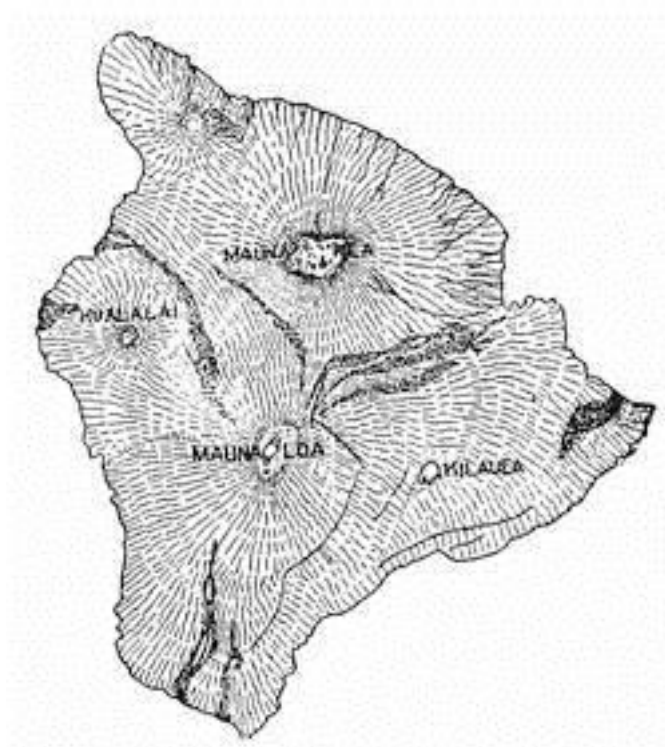


Рис. 100. Карта Гавайев и лавовых вулканов Мокуавевео (Мауна—Лоа) и Килауэа (после правительственной карты Александра).

Базальтовые лавовые купола Гавайев.— На “перекрестке Тихого океана” возвышается двойная линия лавовых вулканов, высота которых достигает от 20 000 до 30 000 футов над дном океана, некоторые из них входят в число самых грандиозных вулканических гор, которые известны. Более половины высоты и гораздо большая часть массы самых крупных из них скрыты под поверхностью океана. Два крупных действующих жерла - Мокуавевео (на Мауна-Лоа) и Килауэа, разные вулканы, несмотря на то, что их извержения лавы слились в единую массу. Край кратера Мауна-Лоа находится на высоте 13 675 футов над уровнем моря, в то время как край кратера Килауэа составляет менее 4000 футов и, по-видимому, опирается на склон более крупной горы (рис. 100 и 101). Хотя один кратер находится всего в 20 милях от другого и почти на 10 000 футов ниже, их извержения, по-видимому, были несимпатичными. Нигде еще активные лавовые горы не подвергались таким частым наблюдениям на протяжении длительного периода, и динамика их извержений достаточно хорошо изучена. Чтобы донести это до читателя, лучше всего будет рассмотреть обе горы, поскольку, хотя у них много общего, наблюдения с одной из них странным образом дополняют наблюдения с другой. Поскольку нижний кратер Килауэа легкодоступен, его часто посещали, и существует длинная серия более или менее последовательных наблюдений за ним, которые были собраны и изучены Даной и Хичкоком. Место извержения лавы Килауэа обычно не было видно, в то время как склоны Мокуавевео возвышаются почти на 14 000 футов над уровнем моря и демонстрируют записи об извержениях многих вулканов, некоторые из которых сопровождались самыми грандиозными вулканическими явлениями.



Рис. 101. — Участок через Мауна-Лоа и Килауэа.

Движение лавы в котле Килауэ.—Кратеры этих гор являются самыми крупными из действующих, каждый из них имеет более семи миль в окружности. По форме они имеют неправильную эллиптическую форму и состоят из ряда ступеней или террас, спускающихся к яме на дне, в которой находятся открытые озера кипящей лавы. Об истории Килауэ известно достаточно, чтобы утверждать, что крутые скалы, ограничивающие террасы, представляют собой стены разломов, образовавшихся в результате прорыва поверхности застывшей лавы. Утес под так называемым “черным выступом” образовался в результате обвала поверхности замерзшей лавы во время оттока в 1840 году, когда лава вытекла с восточного склона горы и излилась в море недалеко от Нанавейла. С тех пор дно ямы ниже уровня этого выступа представляло собой, по существу, подвижную платформу из застывшей лавы неизвестной и, несомненно, переменной толщины, которая поднималась и опускалась подобно полу кабины лифта между направляющими путями (рис. 102). Дно, однако, никогда не было полным, поскольку всегда можно было увидеть одно или несколько открытых озер, причем наиболее устойчивым было озеро Халемаумау, расположенное недалеко от юго-западной окраины. В открытых озерах кипящая лава, по-видимому, раскалена добела на глубине всего нескольких дюймов под поверхностью, и при переворачивании массы эти более горячие участки поднимаются на поверхность и появляются в виде белых полос, отмечающих более красные участки поверхности. Время от времени поверхность замерзает, затем открываются трещины и извергаются в удобных местах вдоль трещин, выбрасывая струи и фонтаны лавы, материал которой выпадает пастообразными фрагментами, образующими конусы капель. Вылетают небольшие сгустки жидкости, увлекая за собой нитевидную линию лавового стекла, хорошо известные “волосы Пеле”. Иногда открытые озера образуют застывшие стенки, возвышающиеся над общим уровнем ямы, и с их края лава каскадами разливается по замерзшему дну, увеличивая таким образом его толщину сверху (рис. 103). В других случаях огромный лавовый купол поднимался из ямы Халемаумау под замерзшей оболочкой, расплавленная лава светилась красным сквозь трещины на ее поверхности и выделялась, чтобы залечить каждую широко открытую трещину по мере ее образования.



Рис. 102. Принципиальная схема, иллюстрирующая движущуюся платформу из застывшей лавы, которая поднимается и опускается в кратере Килауэ.

С интервалами от нескольких до девяти или десяти лет кратер периодически осушался, и в это время движущаяся платформа застывшей лавы опускалась более или менее быстро до уровней намного ниже черного выступа и от 900 до 1700 футов ниже края кратера. После этого спуска начинается медленный постепенный подъем, который иногда продолжается со скоростью более ста футов в год, хотя обычно это происходит намного медленнее. Когда платформа достигает высоты от 700 до 350 футов ниже края кратера, происходит еще одно внезапное оседание, которое снова уносит дно ямы вниз на расстояние от 300 до 700 футов.



Рис. 103. Вид открытого лавового озера Халемаумау в кратере Килауэа, показано, как расплавленная лава каскадом стекает по выступающим стенкам лавы на дно ямы (после Павлова).

Осушение котлов с лавой.—Изменения, происходящие внутри кратера Мокуавевео, хотя и менее изучены, чем изменения Килауэа, в некоторых отношениях кажутся иными. Здесь каждому извержению, по-видимому, предшествует более или менее быстрый приток расплавленной лавы в жерло кратера, причем это явление наблюдается издалека в виде яркого света над кратером — отражения свечения от нависающих облаков пара. Подъем лавы часто сопровождался образованием высоких лавовых фонтанов на поверхности, и расплавленная лава иногда появляется в трещинах у края кратера на уровнях значительно выше поверхности лавы внутри ямы.

Хотя во многих случаях лава, которая таким образом затопила кратер, внезапно вытекала, так и не став снова видимой, вполне вероятно, что в таких случаях был найден выход к какому-то подводному выходу, поскольку эффекты подводного выброса наблюдались в связи с извержениями каждого из вулканов.

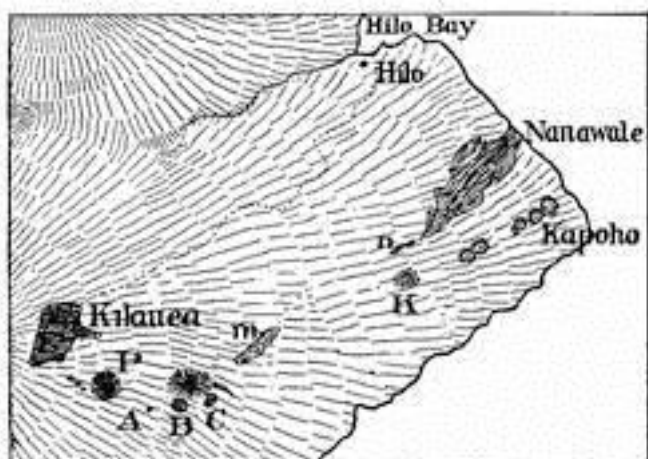


Рис. 104.— Карта, показывающая способ излияния лавы из Килауэа во время извержения 1840 года. Вытекающая лава появлялась последовательно в точках *A, B, C, m, n* и, наконец, в точке ниже *n*, откуда она увеличивалась в объеме и стекала в море в Нанавале (в честь Дж. Д. Даны).

Поскольку землетрясений в связи с такими излияниями, которые были описаны, не ощущается, вполне вероятно, что горячая лава прокладывает себе проход в какой-нибудь открытый канал под склонами горы. Такой ход хорошо иллюстрируется оттоком Килауэа в 1840 году, когда, как следует помнить, произошел мощный обвал кратера, образовавший яму под черным выступом. В это время лава впервые выступила на склонах горы на дне небольшой ямы, или кратера откола, который открылся в пяти милях к юго-востоку от главного кратера Килауэа (рис. 104). Внутри этого нового кратера поднялась лава, и вскоре последовали небольшие выбросы из трещин, образовавшихся по соседству с ним. Некоторое время спустя лава просела в первом новом кратере только для того, чтобы последовательно появиться в других небольших отверстиях (рис. 104, *B, C, m, n*) и, наконец, выделиться в объеме в точке в одиннадцати милях от берега и после этого течь *по поверхности* горы, пока не достигнет моря. Ощущались лишь малейшие подземные толчки, и поскольку грохота слышно не было, очевидно, что лава прокладывала себе путь по погребенному каналу, в значительной степени открытому в то время (см. Ниже, стр. 112).

В большинстве извержений Мокуавевео, когда стали видны вытекающие лавы, расплавленная порода, по-видимому, выплавилась на поверхность горы в точках на глубине от 1000 до 3000 футов ниже дна кратера, и этот выброс соответствовал по времени опусканию поверхности лавы внутри кратера. Однако известны три случая, когда лава вытекала из определенных трещин, образовавшихся на склонах гор на сравнительно низких уровнях. В отличие от образования оплавленных выходов, эти разрывы части склона горы всегда сопровождалась сильными локальными землетрясениями короткой продолжительности. В одном случае (извержение 1851 года) такая трещина образовалась при тех же условиях, но на высоте 12 500 футов, или около уровня лавы в кратере.

Поток лавы затопляет реку.— Чтобы должным образом понять эти и многие другие загадочные явления, связанные с вулканами, необходимо постоянно помнить о совершенно замечательных теплоизоляционных свойствах застывшей лавы. Как только на поверхности расплавленной породы образуется тонкая корка, тепло нижележащей жидкой массы отдается крайне медленно, так что потоки лавы, больше не связанные с их внутренними лавовыми резервуарами, могут оставаться расплавленными десятилетиями.



Рис. 105. Лава Матавану на острове Савай, стекающая в море во время извержения 1906 года. За ходом могут следовать струи пара, вырывающиеся с поверхности вниз к большому облаку пара, которое поднимается там, где жидкая лава изливается в море (по Х. И. Дженсену).

Мы видели, что в Мокуавевео и Килауза лава либо незаметно прокладывает себе путь к поверхности во время оттока, либо создает трещину для своего выхода под аккомпанемент сильных локальных землетрясений. В любом случае, если лава выходит в точке намного ниже кратера, в месте выхода возникают гигантские лавовые фонтаны, при этом текучая порода поднимается на высоту от 250 до 600 и более футов над поверхностью. Определенная доля этой текучей лавы достаточно охлаждается, чтобы уплотняться при движении по воздуху, и, падая, она образует шлаковый конус, который остается в качестве памятника месту выброса. Из этого отверстия расплавленная лава начинает свой путь вниз по склону горы и быстро замерзает, образуя туннель, под сводом которого течет текучая лава со сравнительно медленной дальнейшей потерей тепла. За исключением редких струй пара, поднимающихся с его поверхности, он может мало что указывать на свое присутствие, пока не достигнет моря (рис. 105).

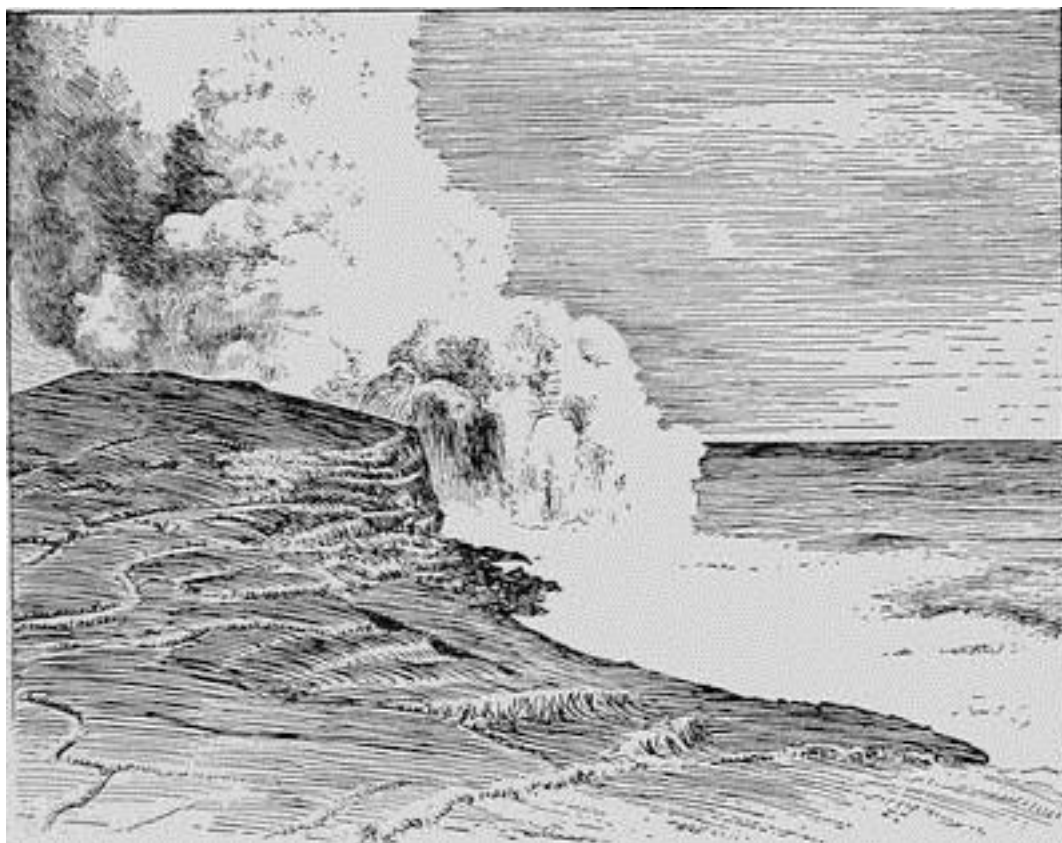


Рис. 106. Поток лавы, вытекающий в море из—под замерзшей крыши лавового туннеля. Извержение вулкана Матавану на острове Савай в 1906 году (по имени Сапера).

Если поток лавы достаточен по объему и берег находится не слишком далеко, он достигает моря, где, вытекая из устья своего туннеля, выбрасывает огромные объемы пара и вызывает кипение воды на обширной площади (рис. 106). Профессор Дана, посетивший Гавайи всего через несколько месяцев после великого излияния 1840 года, утверждает, что лава, достигнув океана, задрожала, как расплавленное стекло, и была выброшена миллионами частиц, которые затемнили небо и градом обрушились на окружающую местность. Свет был таким ярким, что на расстоянии сорока миль мелкий шрифт можно было прочесть в полночь.



Рис. 107.—Схематическое изображение структуры склонов лавовых вулканов в результате стекания застывших лавовых потоков.

Защищенная от любого обширного уплотнения своим застывшим покровом, лава в потоке может полностью вытекать, оставляя после себя пустой лавовый туннель, потолок которого в случае гавайских вулканов иногда увешан красивыми лавовыми сталактитами, а дно усеяно тонкими лавовыми шипами. Более поздние потоки лавы по тому же или соседним руслам погребают такие туннели под другими аналогичной природы, придавая склонам гор вытянутую ячеистую структуру, схематично проиллюстрированную на [рис. 107](#). Эти заглубленные каналы в будущем могут быть снова использованы для оттока, аналогичного по характеру оттоку из Килауэа в 1840 году.



Рис. 108.— Диаграмма, показывающая способ образования мезасов или столовых гор в результате излияния лавы в долинах и последующей более быстрой эрозии промежуточных хребтов. *R*, более ранняя речная долина; *R'R'*, более поздние долины.

В то время как образование лавовых сталактитов такого совершенства и красоты характерно для гавайских лавовых туннелей, образование туннеля в связи с вытеканием лавы является правилом везде, где образование дренажа в конце позволило. Только через несколько часов после начала потока толщина замерзшей поверхности обычно составляет несколько дюймов, и по этому покрытию можно пройти, пока под ним все еще находится расплавленная лава. Поначалу частично поддерживаемая расплавленной лавой, крыша туннеля иногда обваливается, как только происходит осушение.

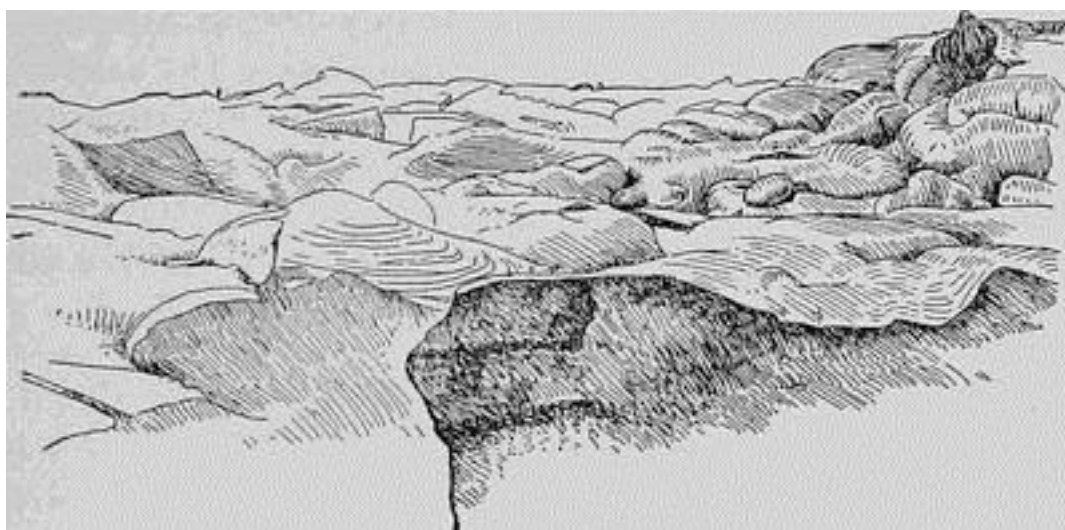


Рис. 109. Поверхность лавы типа Пахоэхо.

Везде, где базальтовая лава распространилась в долинах на поверхности более легко разрушаемого материала, будь то шлаковые или осадочные образования, более мягкие промежуточные гребни сначала уносятся эродирующими факторами, оставляя лаву в виде покрытия на остаточных возвышенностях. Так возник тип столовой горы или *мезы*, хорошо проиллюстрированный на западных склонах Сьерра-Невады в Калифорнии (рис. 108).

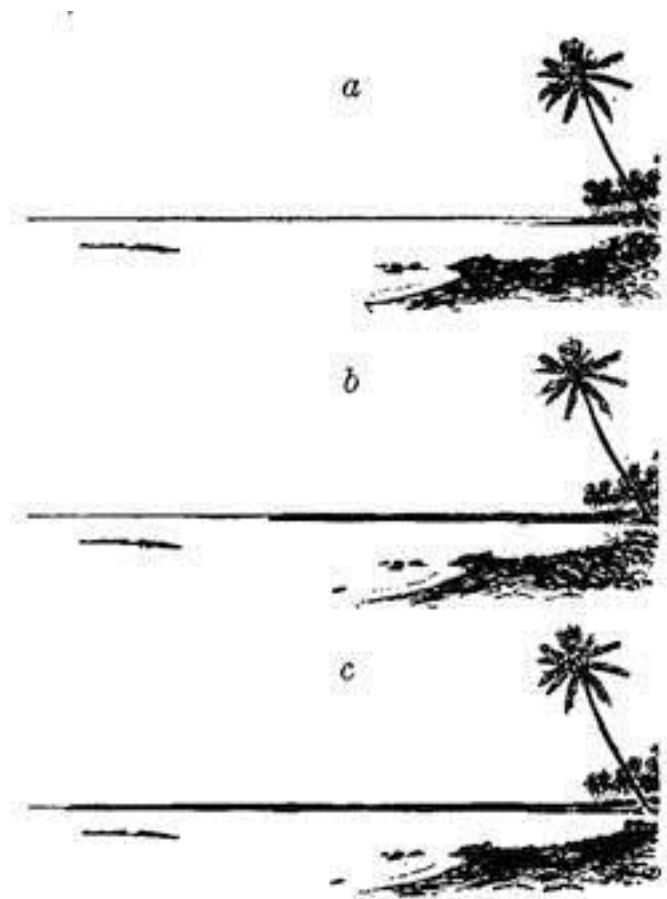


Рис. 110.— Три последовательных вида, иллюстрирующих рост острова Савайи в результате излияния лавы в Матавану в 1906 году. *a*, ближе к началу излияния; *b*, на несколько недель позже, чем *a*; *c*, на несколько недель позже, чем *b* (после Х. И. Дженсена).

Поверхность, которую принимает текущая лава, хотя и подвержена значительным изменениям, все же может быть классифицирована на два довольно различных типа. С одной стороны, имеется волнистая поверхность, на которой эллипсоидальные или почковидные массы, каждая размером от одного до нескольких футов, лежат, слившись друг с другом, мало чем отличаясь от беспорядочной коллекции диванных подушек. Этот тип лавы стал известен как *Пахоехопо* гавайскому залеганию (рис. 109). Разновидностью этого типа является “шнуровая” или “веревочная” лава, поверхность которой во многом напоминает веревку, поскольку она намотана вдоль палубы судна, причем витками здесь являются полосы пены или отложений, расположенные таким образом течениями на поверхности ручья (рис. 123, стр. 124). Совершенно другим типом является блочная лава (тип *Aa*), которая обычно имеет неровную шлакообразную поверхность и состоит из более или менее отдельных фрагментов остывшей лавы (рис. 131, стр. 130).

Везде, где лава в большом количестве попадает в море, она расширяет береговую кромку, часто на значительные площади. Отток Килауэа в 1840 году расширил побережье Гавайев вширь на четверть мили, и более поздняя иллюстрация такого расширения суши представлена на [рис. 110](#).

ГЛАВА X

ПОДЪЕМ РАСПЛАВЛЕННОЙ ПОРОДЫ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ГОРЫ ВЫБРОШЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Механика взрывов кратеров.—Если мы теперь перейдем от лавового вулкана к активному шлаковому конусу, мы столкнемся с полной сменой обстановки. Вместо спокойного течения и конвульсивных движений расплавленной лавы мы здесь встречаемся с повторяющимися взрывами большей или меньшей силы. Если мы хотим с пользой изучить характер взрывов, рассматривая жерло вулкана как отличный экспериментальный аппарат, было бы неплохо выбрать для нашей цели вулкан, который находится в не слишком буйном настроении. Хорошо известный шлаковый конус Стромболи в группе Эоловых островов к северу от Сицилии с короткими и незначительными перерывами оставался в состоянии легкой взрывной активности с начала христианской эры. Возвышаясь примерно на три тысячи футов прямо из Средиземного моря и демонстрируя днем белую шапку пара, а ночью прерывистое свечение, его вершина видна на расстоянии ста миль в море, и его по праву называют “Средиземноморским маяком”. Интервал “вспышки” этого маяка может варьироваться от одной до двадцати минут, и, кроме того, он может демонстрировать значительные колебания интенсивности.

По той причине, что кратер горы расположен с одной стороны и на значительном расстоянии ниже фактической вершины, предоставляемая здесь возможность заглянуть в кратер наиболее благоприятна всякий раз, когда направление ветра таково, что оно разгоняет нависающее облако пара ([рис. 111](#)). Давным-давно итальянский вулканолог Спалланцани предпринял наблюдения над кратером, и многие другие со времен него воспользовались его примером.

Внутри кратера вулкана видна слегка замерзшая поверхность лавы, пересеченная множеством трещин, из которых выходят струи пара. Здесь, как и в кратере Килауэа, есть открытые бассейны с кипящей лавой. Из некоторых из них видно, как лава выливается на замерзшую поверхность; из других пар выбрасывается клубами, как из трубы локомотива. В других местах видно, как лава вздымается вверх и вниз в сильном кипении, и время от времени со взрывной силой выбрасывается большой пузырь пара, унося с собой значительное количество все еще расплавленной лавы вместе с ее пенообразной поверхностью, которая вываливается за пределы кратера и с грохотом скатывается по склону горы в море. После этого взрыва поверхность лавы в бассейне опускается, и перемешивание возобновляется, достигая кульминации по прошествии нескольких минут во втором взрыве той же природы. Подъем лавы, предшествующий выбросу, проявляется ночью в виде более яркого отражения или свечения от нависающего облака пара — вспышки, которую видит моряк со своего судна.

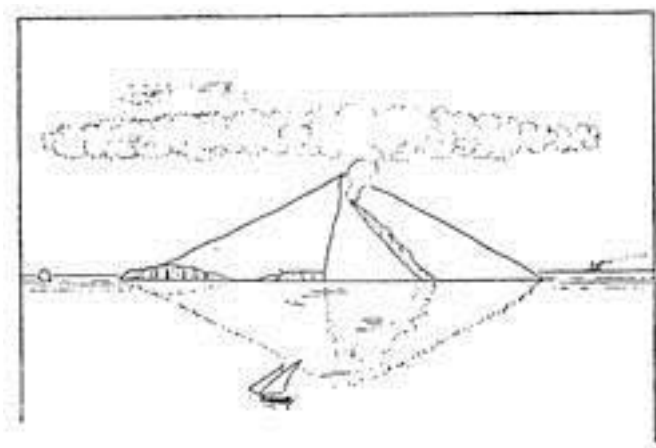


Рис. 111. Вулкан Стромболи, показывающий эксцентрическое положение кратера (по эскизу Джадда).

То, что происходит внутри кратера Стромболи, мы, пожалуй, лучше всего можем проиллюстрировать на примере варки жесткой каши на горячем огне. Любой, кто готовил кукурузную кашу на горячем походном костре, прекрасно понимает, что по мере того, как каша становится гуще от добавления муки, необходимо перемешивать массу с удвоенной энергией, если мы хотим, чтобы что-то осталось в котелке. Загустение кашицы увеличивает ее вязкость до такой степени, что образующийся внутри нее пар не может выйти наружу, если ему не помогают отверстия, постоянно проделываемые для него ложкой для перемешивания. Если на мгновение прекратить перемешивание, пар расширяется, образуя большие пузырьки, которые вскоре выталкивают пастообразную массу из котла.

Для кратера Стромболи этот процесс проиллюстрирован серией диаграмм на [рис. 112](#). Когда лава поднимается к поверхности, предположительно в результате конвекционных течений внутри трубы вулкана, содержащийся в ней пар сбрасывает давление, так что на некоторой глубине под поверхностью он начинает выделяться в виде мельчайших пузырьков, которые, расширяясь по мере подъема, приобретают быстро увеличивающуюся скорость. Вскоре они текут вместе с совершенно внезапным увеличением своей экспансивной энергии, и теперь, устремляясь вверх с еще большей скоростью, слой жидкой лавы, покрытый пеной, поднимается на поверхность гигантского пузыря и подбрасывается высоко в воздух. Охлажденные во время своего полета, быстро застывшие массы лавы превращаются в тuff или вулканический пепел, из которого изготовлен шлаковый конус.

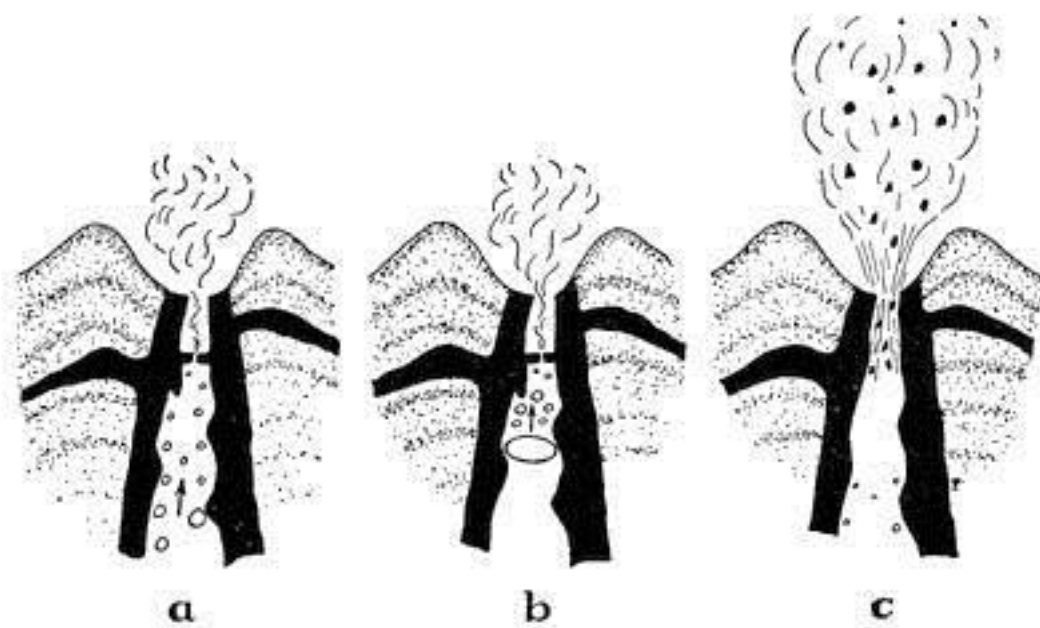


Рис. 112. Диаграммы, иллюстрирующие природу извержений в пределах кратера Стромболи.

Более грандиозные вулканические извержения шлаковых конусов.—Большинство шлаковых и композитных конусов в промежутках между их более масштабными извержениями, если и не находятся в состоянии полного покоя, то переходят в период небольшой активности, в течение которого извержения их кратеров во всех существенных отношениях напоминают обычные взрывы внутри стромболианского кратера. Таким образом, эта фаза активности описывается как *стромболианская*. Напротив, случайные более грандиозные извержения, которыми отмечена история всех крупных вулканов, на языке Меркалли описываются как *вулканические* извержения, исходя из наиболее изученного примера.

Точно неизвестно, что именно через определенные промежутки времени вызывает более масштабные вулканические извержения внутри вулкана; но важно отметить, что существует подход к периодичности более масштабных извержений. Как правило, можно различить извержения по крайней мере на два порядка интенсивности, превышающие стромболианскую фазу; более масштабные, примеры которых могут быть разделены столетиями, и одного или нескольких порядков относительно умеренной интенсивности, которые повторяются с интервалами, возможно, в десятилетия, причем их временные интервалы подразделяют более крупные периоды, отмеченные извержениями первого порядка.

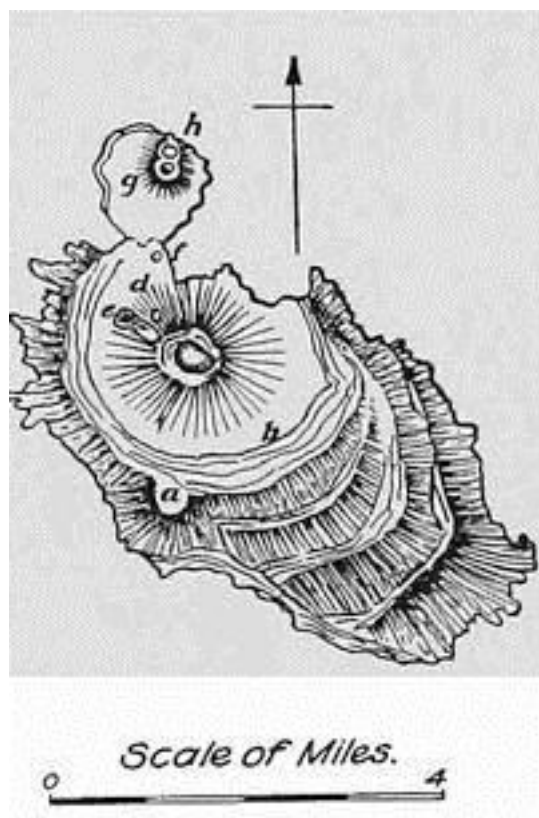


Рис. 113.— Карта вулкана в группе Эоловых островов. Кратеры поменьше, частично рассеченные волнами, принадлежат Вулканелло (в честь Джадда).

Извержение вулкана в 1888 году.— На Эолийских островах к северу от Сицилии располагалась мифическая кузница Вулкана. От этой местности произошло наше слово “вулкан”, и ни остров, ни гора сегодня не носят другого названия (рис. 113). Структура острова свидетельствует о несколько сложной вулканической истории, но форма большого центрального шлакового конуса, по словам Скроупа, была приобретена во время извержения 1786 года, когда, как сообщается, кратер выбрасывал пепел в течение пятнадцати дней. Перейдя после этого извержения в состояние сольфатары, за исключением легкого извержения в 1873 году, вулкан оставался спокойным до 1886 года. Во второй половине этого периода фумеролы внутри кратера были настолько активны, что там был разбит обширный завод, особенно для сбора борной кислоты. В 1886 году произошло небольшое извержение, достаточное, чтобы расчистить дно кратера, хотя и не потревожившее серьезно английского плантатора, чьи виноградники и фиговые сады находились в долине или *атриуме* недалеко от точки *d* на карте (рис. 113), почти в миле от края кратера. 3 августа 1888 года произошел первый выброс вулкана, который, хотя и не был первого порядка по величине, все же был величайшим за более чем столетнюю историю горы и может служить нам иллюстрацией вулканической фазы активности внутри шлакового конуса. В течение дня под аккомпанемент взрывов значительной силы снаряды падали за пределами края кратера и скатывались по крутым склонам к *атриуму*. Эти взрывы повторялись с интервалом от двадцати до тридцати минут, каждый начинался с сильного выброса вверх пара и пепла, сопровождаемого низким рокочущим звуком. В течение следующей ночи извержения усилились, и встревоженный плантатор остался на страже на своей вилле в миле от кратера. Заснув под утро, он был грубо разбужен дождем снарядов, обрушившихся на его крышу. Пospешно подхватив двух своих детей, он побежал к двери как раз в тот момент, когда раскаленный снаряд диаметром около двух футов пробил крышу, потолок и пол гостиной, подожгв здание. Второй снаряд, похожий на первый, разлетелся на

осколки у его ног, когда он выходил из дома, в результате чего один из детей получил ожоги. Спасаясь бегством в Вулканелло на оконечности острова, он провел остаток ночи и следующий день, пока не прибыла помощь из Липари, сразу за пределами досягаемости падающих масс.



Рис. 114.— Лавовый снаряд “Хлебной корочки” при извержении вулкана в 1888 году (по Меркалли).

Когда автор посетил остров несколько месяцев спустя, извержение все еще было настолько сильным, что добраться до кратера было невозможно. Разрушенная вилла, разбитая и обуглившаяся, стояла со стенами, наполовину занесенными пеплом и лапилли, среди которых были частично разбитые осколки пемзовой лавы. Весь *атриум* вокруг горы был засыпан золой на глубину нескольких футов и усеян снарядами, размер которых варьировался от человеческого кулака до нескольких футов в диаметре (рис. 114). Более крупные из них имели своеобразную поверхность “хлебной корки” и обычно разбивались при падении на манер тыквы, которую сильно швырнули о землю. Один из таких снарядов диаметром целых три фута был найден на расстоянии полутора миль от кратера. Хотя интенсивность ритмичных взрывов внутри кратера значительно уменьшилась, они все еще повторялись с интервалами от четырех минут до получаса и сопровождались глухим ревом, который было легко услышать в Липари на соседнем острове в шести милях отсюда. Одновременно темное облако “дыма”, своеобразное “облако цветной капусты”, или *пино*, поднялось на пару миль над кратером (рис. 115), а за подъемом последовал дождь мелких фрагментов лавы, или *лапилли*, за пределами края кратера.



Рис. 115. — Своеобразное “облако цветной капусты” или *пино*, состоящее из пара и пепла, поднимающееся над шлаковым конусом вулкана во время затухающих фаз взрывного извержения 1888 года (по фотографии Б. Хобсона).

Кажется, нет веских оснований сомневаться в том, что вулканические шлаковые извержения этого типа отличаются главным образом по величине от ритмичных взрывов внутри кратера Стромболи, если не считать поднятия значительного количества вспомогательного и более древнего туфа, который образуется на внутренних стенках кратера и уносится вверх в воздух вместе с пастообразными осадками свежей лавы, вытекающими из дымовой трубы. Именно этот вспомогательный материал придает *pino* темный или даже черный вид.



Рис. 116. Двойное взрывное извержение вулкана Тааль утром 30 января 1911 г.

Извержение вулкана Тааль 30 января 1911 г.—Недавнее извержение шлакового конуса, известного как вулкан Тааль, представляет интерес не только потому, что оно свежо в памяти, но и потому, что два соседних жерла изверглись одновременно со взрывами почти равной силы (рис. 116). Этот филиппинский вулкан расположен недалеко от центра озера диаметром около пятнадцати миль и примерно в пятидесяти милях к югу от города Манила. После периода покоя, длившегося более ста пятидесяти лет, симптомы приближающегося извержения быстро проявились, и утром 30 января в соседних кратерах одновременно произошли мощные взрывы пара и пепла, а конденсировавшаяся влага обрушила пепел лавиной раскаленной грязи, которая засыпала весь остров. Почти все население острова, насчитывавшее несколько сотен человек, было буквально погребено в пузырящейся грязи (рис. 117); а газы от взрывов, унесенные к дальним берегам озера, добавили к этому числу много сотен жертв.



Рис. 117. Толстый слой ила на острове Таал (по фотографии Денистона).

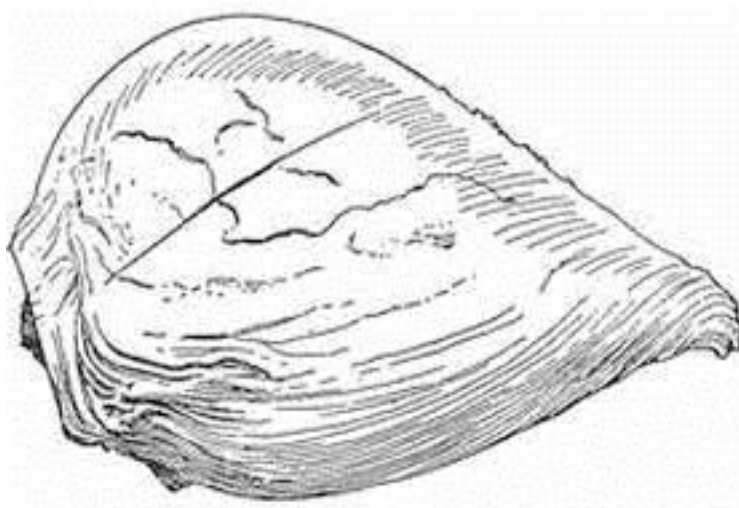


Рис. 118.— Грушевидный лавовый снаряд.

Толчки, сопровождавшие взрывы, подняли на поверхности озера огромную волну, которая, набегая на берега, смыла постройки почти на полмили.

Материалы и структура шлаковых конусов.— Очевидно, что материалы, из которых состоят шлаковые конусы, представляют собой остывшие фрагменты лавы различной степени крупности, выброшенные из кратера. Если размер таких осколков превышает сустав пальца,

их называют *вулканическими снарядами*, или, неправильно, "вулканическими бомбами". Что касается больших масс, то часто верно, что выталкивающая сила не была приложена напротив центра масс тела. Отсюда следует, что во время полета они совершают сложные вращательные движения и, будучи еще полужидкими, приобретают любопытную грушевидную или менее правильную форму (рис. 118). Когда кристаллы уже отделились в лаве перед ее подъемом в жерле вулкана, окружающая текучая лава может быть разнесена на мелкодисперсную вулканическую пыль, которая уносится ветром, таким образом оставляя кристаллы нетронутыми, чтобы они опускались кристаллическим дождем вокруг кратера. Такой ливень произошел в связи с извержением Этны в 1669 году, и кристаллы черного авгита сегодня можно горстями собирать со склонов Монти Росси (рис. 125, стр. 125).

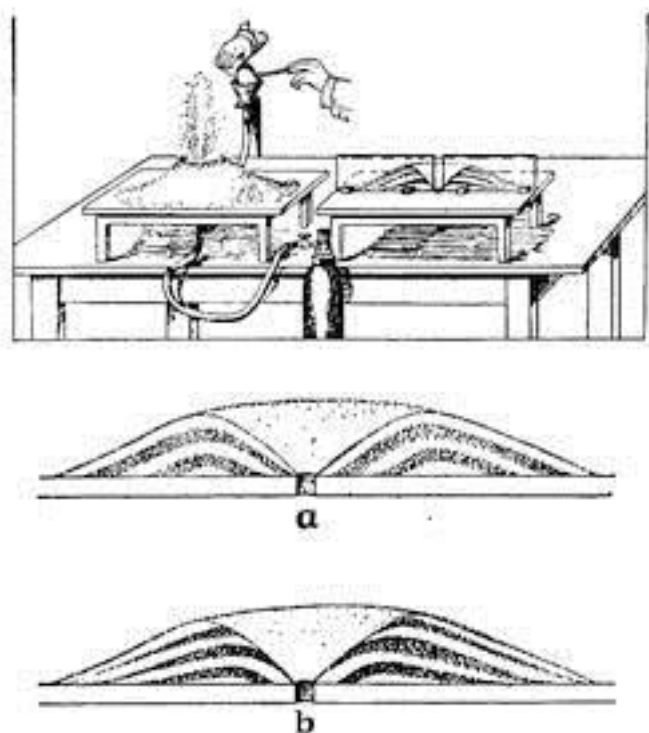


Рис. 119. Искусственное создание структуры шлакового конуса с использованием цветных песков, попеременно поднимаемых потоком воздуха (по Г. Линку).

Термин *лапилли*, или иногда *рапилли*, применяется к выброшенным фрагментам лавы, когда они имеют средний размер сустава пальца. Это материал, который все еще частично покрывает неосушенные участки города Помпеи. Вулканический *песок*, *пепел* и *пыль* - термины, применяемые для обозначения все более мелких частиц выброшенной лавы. Тончайший материал, вулканическая пыль, часто разносится на сотни, а иногда даже на тысячи миль от кратера сильными атмосферными потоками. Поскольку этот материал осаждается далеко от кратера и слоями, более или менее горизонтальными, такой материал играет небольшую роль в формировании шлакового конуса. С другой стороны, более крупные пески и зола являются материалами, из которых в основном изготавливается шлаковый конус.

Способ образования и структуру шлаковых конусов можно проиллюстрировать с помощью простого лабораторного прибора (рис. 119). Через отверстие в доске сначала белый, а затем цветной песок поднимается вверх в легком потоке воздуха или газа, подаваемого из соответствующего устройства. Чередующиеся слои песка формируются в показанных

положениях, то есть опускаются внутрь или к жерлу вулкана во всех точках внутри края кратера и наружу или от него во всех точках снаружи (рис. 119). Если эксперимент зайдет так далеко, что по его окончании песок соскользнет по стенкам кратера в расположенную ниже дымовую трубу, погружающиеся внутрь слои будут урезаны или даже полностью удалены, как показано на рис. 119 б.

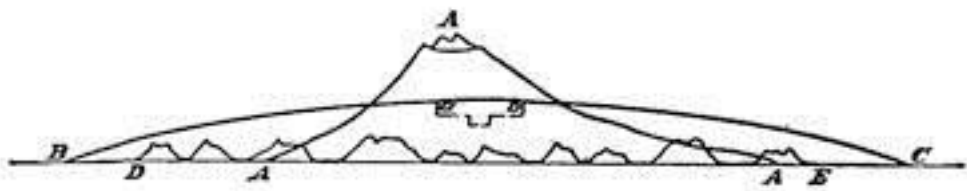


Рис. 120.— Диаграмма, показывающая контраст между лавовым куполом и шлаковым конусом. AAA, шлаковый конус; BabC, лавовый купол; DE, линия низких шлаковых конусов над трещиной (после Торродсена).

Линии профиля шлаковых конусов.—Формы шлаковых конусов заметно отличаются от форм лавовых гор. В то время как последние представляют собой купола, горы, построенные из шлака, имеют коническую форму и изгибы профиля, которые вогнуты вверх, а не выпуклы (рис. 120). На ранних стадиях своего роста шлаковый конус имеет кратер, который пропорционально высоте горы относительно широк (рис. 99, стр. 104).

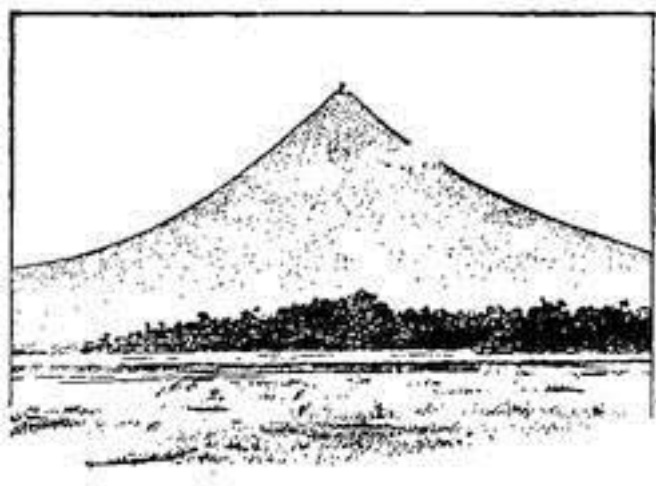


Рис. 121.— Вулкан Майон на острове Лусон, П.И. Удивительно совершенный высокий шлаковый конус.

Говоря в общих чертах, диаметр кратера является показателем силы взрывов внутри дымохода. В результате одной серии коротких и сильных взрывных извержений образуется низкий и широкий шлаковой конус. С другой стороны, в результате длительной серии взрывов средней силы образуется высокий конус с небольшим диаметром кратера по сравнению с высотой горы, а полученный профиль представляет собой удивительно красивую широкую кривую (рис. 121). К вершине такого конуса сыпучие материалы, из которых он состоит, расположены под максимально крутым углом, так называемый угол покоя материала; тогда как ниже более пологие склоны были определены распределением золы во время ее падения с воздуха. Когда человек совершает восхождение на такую гору, он сталкивается с постоянно более крутыми подъемами, причем самый сложный склон находится как раз под гребнем.



Рис. 122.— Серия разрушенных шлаковых конусов, где место извержения переместилось вдоль нижележащей трещины. Пюи Нуар, Солас и Ла Ваш в провинции Мон-Дор в центральной Франции (после Скроупа).

Составной конус.—История жизни вулканов, как правило, настолько разнообразна, что лавовые купола и чистые типы шлаковых конусов встречаются реже, чем вулканы, в которых пароксизмальные извержения чередовались со взрывами, и где, следовательно, структура горы представляет собой смесь лавы и шлаков. Такие составные конусы имеют каркас из твердой породы, на котором были образованы чередующиеся наклонные слои шлаков и лавы. В большинстве случаев такие конусы занимают промежуточное положение между лавовыми куполами и шлаковыми конусами.

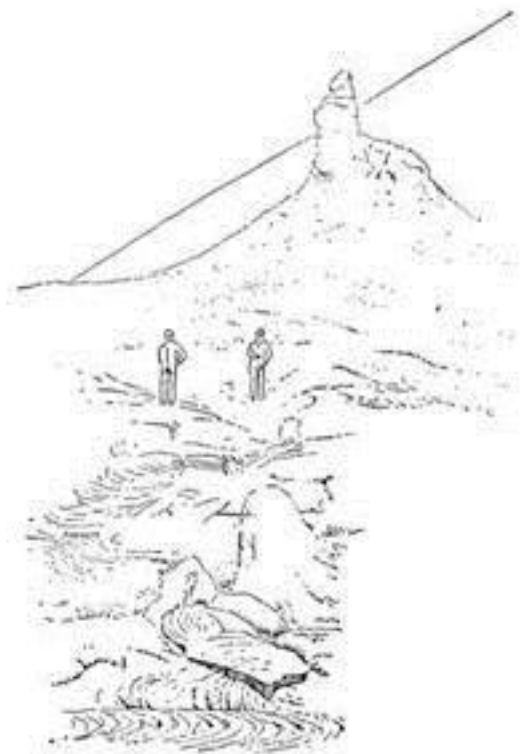


Рис. 123. — Бокка, или устье на внутреннем конусе Везувия, из которого вытекал поток лавы в 1872 году. Этот поток лавы появляется на переднем плане с его характерной “веревочной” поверхностью.

Рассматриваемый как подпорная стенка для лавы, которая скапливается в дымоходе, шлаковый конус, очевидно, самый слабый из всех. Если лава поднимается в шлаковом конусе без взрыва, конус сразу же пробивается с одной стороны изливанием лавы у основания. Таким образом, возникает характерный *ломаный* конус подковообразной формы (рис. 122).

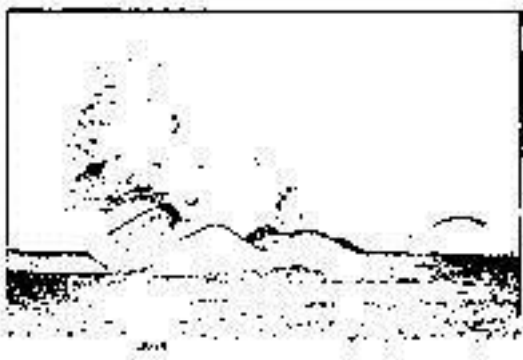


Рис. 124.— Ряд паразитных конусов, возвышающихся над трещиной, которая открылась на склонах Этны во время извержения 1892 года (после Де Лоренцо).

Лавовый купол с его каменными стенами и относительно пологими склонами резко контрастирует со слабым шлаковым конусом. Рассматриваемый как подпорная стена для лавы, это самый прочный тип вулканических гор, и вполне вероятно, что гидростатического давления лавы внутри кратера редко было бы достаточно, чтобы разрушить стены, если бы не то, что расплавленная порода сначала проникает в старые туннели ручьев, погребенные под склонами горы (см. *ante*, стр. 112). Композитные конусы обладают прочностью в качестве подпорных стенок для лавы, которая является промежуточной по сравнению с прочностью других типов. Их вулканические извержения конвульсивного типа инициируются образованием разлома или трещины на склонах гор на высотах значительно выше основания, открытие трещины обычно сопровождается локальным землетрясением большей или меньшей силы.

Из одной или нескольких таких трещин лава обычно вытекает с достаточной силой в месте истечения, чтобы образовать над ней либо увеличенный конус капель, называемый “устьем”, или *бокка*^[1] (рис. 123), либо один или несколько шлаковых конусов, которые из-за их расположения на склонах более крупного вулкана называются *паразитическими конусами* (Рис. 124). Лава Везувия чаще дает *бокки* в месте излияния, тогда как склоны Этны усеяны большим количеством паразитных шлаковых конусов, каждый из которых является памятником какого-либо более раннего извержения (рис. 125).

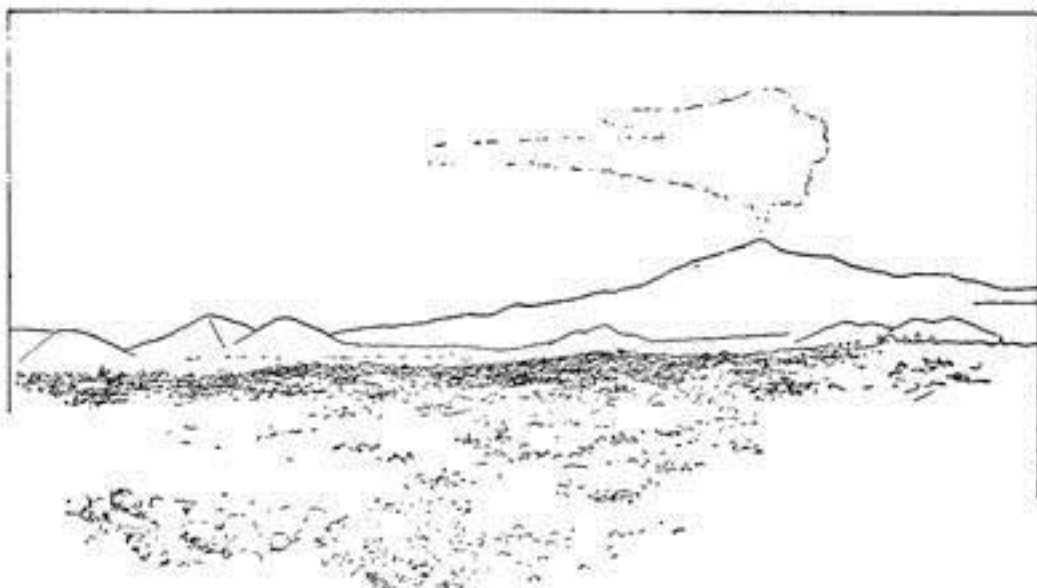


Рис. 125.—Вид на вершину Этны с позиции на южном склоне близ деревни Николози. Два разрушенных паразитарных конуса, видимые за этой деревней, - это Монти Росси, которые были выброшены в 1669 году и из которых вытекла лава, затопившая Катанию (по фотографии Соммера).

Как правило, единичное извержение вносит лишь относительно небольшой вклад в основную массу горы. Из каждого нового конуса или *бокки* вытекает поток лавы, растекающийся относительно узким потоком, спускающимся по склонам (рис. 126).

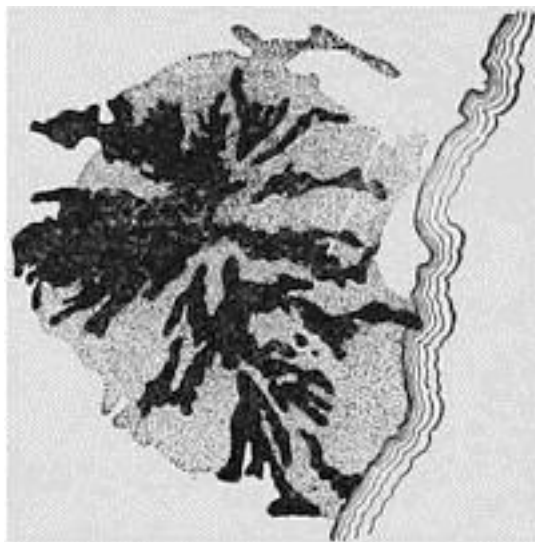


Рис. 126. Схема Этны, показывающая отдельные поверхностные потоки лавы (черным) и покрытую туфом поверхность (пунктиром).

Кальдера составных конусов.—Из-за разнообразных эпизодов в истории составных конусов им не хватает правильных линий, характерных для двух более простых типов. Большее количество наиболее важных составных конусов образовалось внутри внешнего кратера относительно большого диаметра, конуса Соммы или *кальдеры*, который окружает их подобно гигантскому ершу или воротнику. Очевидно, что в большинстве случаев эта кальдера, по крайней мере, является остатком более раннего взрывного кратера, после последовательных извержений меньшей силы образовалась более острая коническая структура. Это может быть истолковано только как означающее, что большинство крупных и длительно действующих вулканов родились в величайших муках за всю историю своей жизни, и что большая или меньшая боковая миграция жерла была ответственна за частичное разрушение кратера взрыва. На Везувии мы находим серповидный обод Монте-Соммы; на Этне это Валь-дель-Бове и т.д. Именно эта кальдера из составных конусов дала начало теории “кратера возвышения” фон Буха (см. *ante*, [стр. 95](#), и [рис. 127](#)).

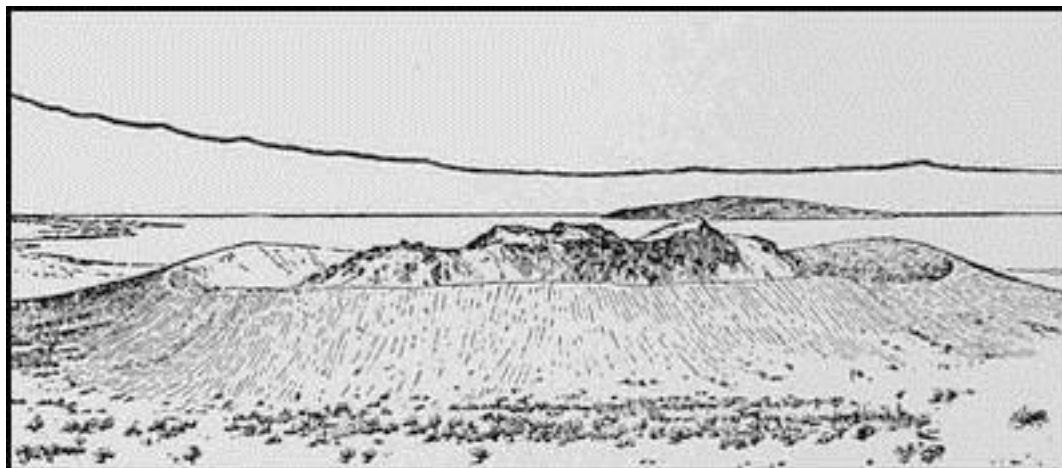


Рис. 127. Кратер Панум, показывающий кальдеру и более поздние внутренние конусы (после Рассела).

Извержение Везувия в 1906 году.— Вулкан Везувий возвышается на берегу прекрасного Неаполитанского залива, всего примерно в десяти милях от города Неаполь. Гора состоит из остатков более раннего взрывного кратера с широким горлом Монте-Сомма и внутреннего, более конического возвышения Монте-Везувио. До извержения 1906 года этот центральный конус был резко конической формы и поднимался на высоту около 4300 футов над поверхностью залива, или над самой высокой точкой древней кальдеры. Основание этого внутреннего конуса находится на высоте, равной примерно половине высоты всей массы, и отделено от окружающей старый кратер кольцевой стенки *атриумом*, которому по высоте соответствует заметный выступ или *пианино* на склоне, обращенном к Неаполитанскому заливу (рис. 128).

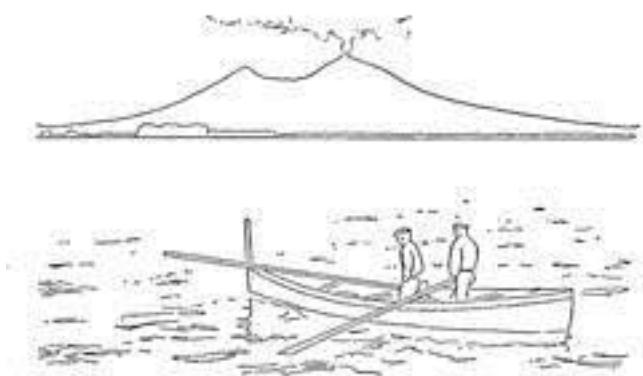


Рис. 128. Вид Везувия из Неаполитанского залива незадолго до извержения 1906 года. Рог слева - это Монте-Сомма.

Активный составной конус, подобный конусу Везувия, большую часть времени находится в стромболианском состоянии; иными словами, легкие кратеровидные взрывы продолжают с различной интенсивностью и интервалом, за исключением случаев, когда гора была возбуждена периодическими вулканическими вспышками, которыми была перемежена ее история. Стромболианские взрывы обладают достаточной силой, чтобы выбросить небольшие фрагменты раскаленной лавы, которые, падая вокруг кратера, медленно образовывали довольно острый конус. Поэтому период стромболианской активности был назван *периодом образования конусов*. Таким образом, непосредственно перед каждой новой вспышкой вулканического типа высота горы достигает максимума, и поскольку более крупные взрывные извержения удаляют части этого конуса одновременно с тем, что они

увеличивают размеры кратера, вулканическая стадия в отличие от другой была названа *периодом образования кратеров*. Таким образом, в этот период материал, выбрасываемый во время взрывов, состоит не только из свежих лавовых лепешек, но и частично из более старых обломков, образующихся на стенках кратера, откуда они лавиной обрушиваются на дымовую трубу после каждого более крупного взрыва. Нависающее облако, которое в течение стромболианского периода состояло в основном из пара и было заметно белого цвета, теперь приобретает более темный оттенок, “дым”, который характеризует извержение вулкана.

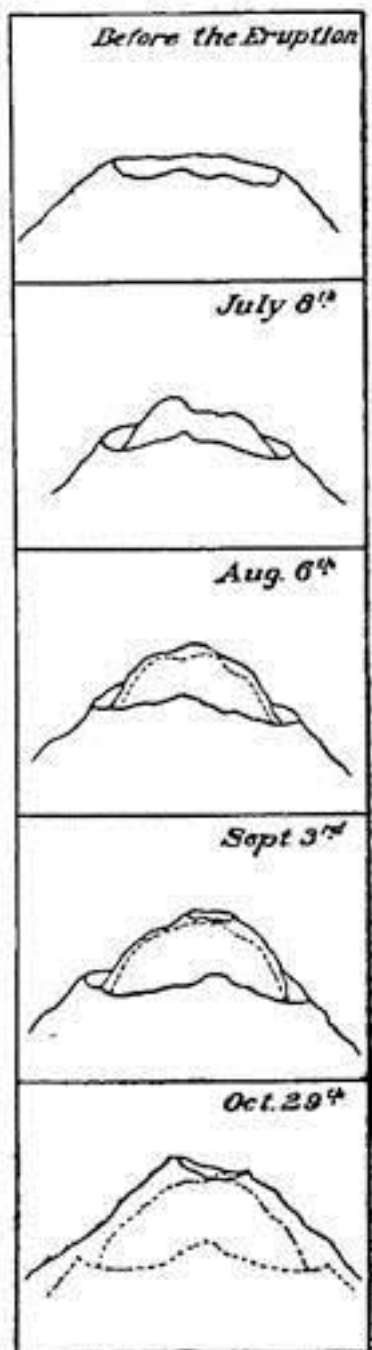


Рис. 129. Серия последовательных набросков вершины везувийского конуса, показывающих изменения в его очертаниях (после сэра Уильяма Гамильтона).

В нескольких исторических случаях конус Везувия опускался на несколько сотен футов, наибольшее из относительно недавних усечений произошло в 1822 и 1906 годах. В

промежутках между вулканическими извержениями стромболианская активность отнюдь не однородна, и поэтому восходящий рост конуса подвержен меньшим перерывам и усечениям (рис. 129).

Извержение Везувия 1906 года было выбрано как тип более крупного вулканического извержения со сложными конусами, потому что в нем сочетались взрывные и пароксизмальные элементы, а также потому, что оно наблюдалось и изучалось с большей тщательностью, чем любое другое. Последнее предыдущее извержение вулканического типа произошло в 1872 году. Примерно два года спустя начался период активного строительства конуса, который протекал с такой быстротой, что к 1880 году новый конус начал появляться над краем кратера 1872 года. С этого времени случайные небольшие извержения прерывали процесс строительства, и поскольку ремонт не во всех случаях был завершен до нового перерыва, скопление конусов, каждый меньший, чем предыдущий, возникало последовательно, подобно выступающим секциям старинной подзорной трубы. Одновременно было видно не менее пяти концентрических кратеров.

В течение короткого периода осенью 1904 года Везувий находился в почти полном покое, но вскоре после этого взрывы в Стромболианском кратере возобновились. 25 мая 1905 года небольшой поток лавы начал вытекать из трещины высоко в центральном конусе, и с этого времени лава продолжала стекать в долину или *атриу*, отделяющую внутренний конус от остатков кальдеры Монте-Сомма. Видимый ночью, этот поток лавы появился из Неаполя, как раскаленная проволока, приставленная к склону горы (рис. 130). С постепенным усилением стромболианских взрывов и увеличением объема вытекающего потока лавы такое же состояние сохранялось до первых дней апреля 1906 года. Текущая лава затем заполнила рельсы горной железной дороги и в значительном количестве скопилась в *атриуме* (рис. 131).



Рис. 130. Ночной вид Везувия из Неаполя до вспышки 1906 года. Виден небольшой поток лавы, спускающийся с высокой точки центрального конуса (после Меркалли).

Утром 4 апреля предварительная стадия извержения была начата открытием новой радиальной трещины примерно в 500 футах ниже вершины конуса (рис. 132 а), а к полудню началась стадия разрушения конуса с поднятием темного “облака цвета цветной капусты” или *пино*, заменившего облако пара более светлого цвета. Конус начал падать в кратер, и старые лавовые обломки смешались в выбросах со сгустками лавы, выдуваемыми из еще жидкого материала внутри дымовой трубы. С этого момента короткие и отрывистые вспышки молний играли вокруг черной тучи, издавая резкое стаккато “такк-а-такк”. Объем и плотность облака, а также интенсивность взрывов в кратере продолжали увеличиваться до кульминации 7 апреля. 5 апреля в полночь в той же трещине, которая открылась недалеко от вершины, появилось новое лавовое жерло, но теперь примерно на 300 футов ниже (рис. 132 б). Теперь лава хлынула в большем объеме, соответствующем ее большему напору, и поток, который в течение десяти месяцев вытекал из самого высокого выходного отверстия на конусе, теперь перестал течь. На следующее утро, 6 апреля, около 8 часов, лава вырвалась в нескольких точках на некотором расстоянии к востоку от отверстия *би*, очевидно, в другой

трещине, поперечной первой (рис. 132 с). Поверхность лавы внутри дымохода, должно быть, все еще оставалась на прежнем уровне — эффективное осушение еще не началось, - поскольку рано утром следующего дня начался небольшой отток почти с вершины конуса на противоположной стороне и по крайней мере на тысячу футов выше.



Рис. 131.— Шлакообразная лава, вторгающаяся на рельсы Везувийской железной дороги (по фотографии Зоммера).



Рис. 132. Карта Везувия, показывающая положение и порядок образования лавовых выходов на его склонах во время извержения 1906 года (после Джонстона—Лависа).

Кульминация извержения произошла вечером 7 апреля, когда под аккомпанемент слабых землетрясений, ощущавшихся даже в Неаполе, лава впервые вышла в большом объеме из устья более чем на полпути вниз по склону горы (рис. 132 *г*), и таким образом начался дренаж трубы. Примерно в то же время, когда раздались громкие взрывы, над кратером поднялось огромное черное облако в связи с сильными взрывами, и в районе горы, но особенно в северо-восточном секторе, прошел шлаковый дождь. Те, кому посчастливилось оказаться в Помпеях, имели прекрасный вид на вершину горы, где раскаленные массы лавы выбрасывались далеко в воздух. Сообщалось, что направление этих выступов было не прямо вверх, а наклонено к северо-восточному квадранту горы; но поскольку при северо-восточном приземном ветре самые тяжелые отложения пепла и пыли должны были находиться в юго-западном квадранте горы, очевидно, что материал поднимался вверх, пока не достиг противоположных верхних слоев атмосферы, чтобы быть ими распределенным.

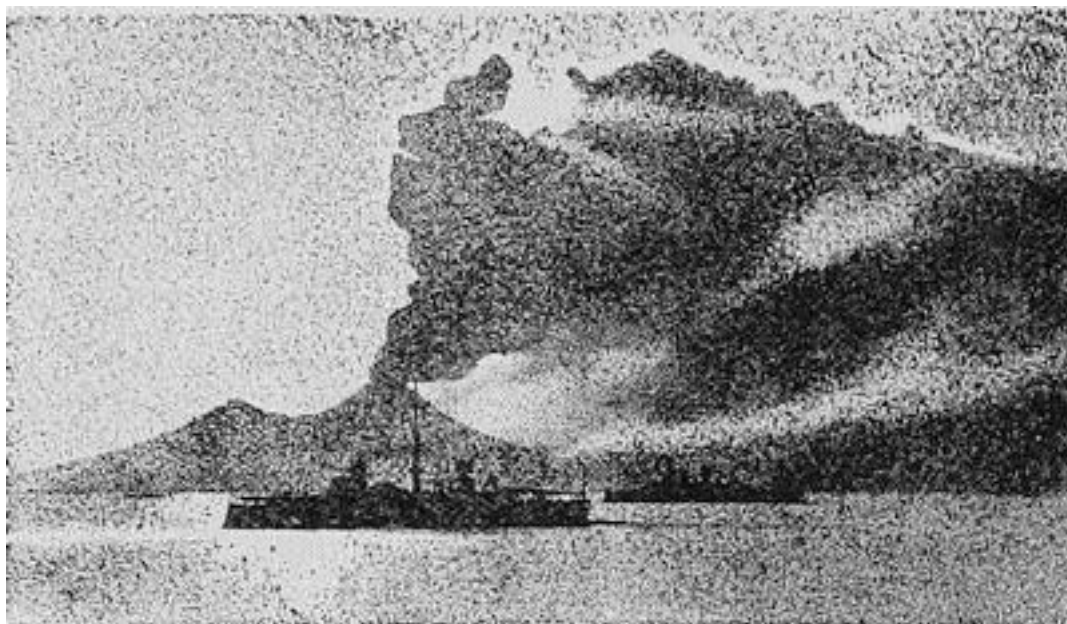


Рис. 133. — Пепловая завеса, нависшая над Везувием, поднялась и обнажила очертания горы 10 апреля 1911 г. (после Де Лоренцо).



Рис. 134.— Центральный конус Везувия в том виде, в каком он появился после извержения 1906 года, но с обозначенным более ранним профилем. Усечение представляет собой понижение вершины примерно на пятьсот футов с соответствующим увеличением диаметра кратера (после Джонстона-Лависа).

Когда тяжелая завеса пепла, которая теперь в течение ряда последующих дней нависала над всей околорезувийской территорией, начала подниматься (рис. 133), стало видно, что вершина конуса срезана в среднем примерно на 500 футов (рис. 134). Все склоны и большая часть окружающей местности выглядели так, словно были погребены под слоем снега цвета какао глубиной в несколько футов к северо-востоку, где он проник во все углубления так, что почти стер их (рис. 135). Более чем в три раза тяжелее воды, слабые балки крыш домов у подножия горы прогнулись под дополнительной нагрузкой, что привело к многочисленным жертвам. Поскольку, однако, выпадение пепла имеет те же общие черты, что и при извержении шлаковых конусов, мы можем здесь обратить особое внимание на потоки лавы, которые вытекали с противоположного склона горы (рис. 136).



Рис. 135. Затонувшая дорога, заполненная отложениями пепла цвета какао от извержения Везувия 1906 года.



Рис. 136. Вид Везувия, сделанный с юго-запада во время затухающей стадии извержения 1906 года. На среднем расстоянии можно различить несколько выходов лавы, расположенных вдоль трещины, и русла ручьев, которые стекают с них. На переднем плане - основной поток лавы со шлакообразной поверхностью (по В. Принцу).

Основной поток лавы спускался по первым крутым склонам со скоростью мили за двадцать пять минут, примерно со скоростью прогуливающегося пешехода, но эта скорость постепенно снижалась по мере того, как поток продвигался дальше от устья. Пользуясь каждым углублением поверхности, черный поток медленно, но неумолимо продвигался к городам у юго-западного подножия горы. С движением, похожим на движение кучи угля, падающей вниз по склону, блочная лава продвигается вперед, не сжигая предметы на своем пути (рис. 137).



Рис. 137. Главный поток лавы 1906 года, надвигающийся на деревню Боскотреказе.



Рис. 138. Итальянская сосна, оторванная лавой и перенесенная вперед по ее поверхности в качестве пассажира (после Хауга).

Красивые сосны просто обуглились там, где их обломали, и их уносит течением по поверхности ручья (рис. 138). Когда встречается настоящее препятствие, такое как мост или вилла, поток сначала останавливают, но задние части набегают на фургон, и, если сбоку не найден проход, фронт лавы поднимается все выше и выше, пока под действием своего веса препятствие не уступит дорогу (рис. 139 и 140).



Рис. 139. Фронт лавы, одновременно надвигающийся и огибающий стену, которая лежит поперек его хода (после Джонстона—Лависа).

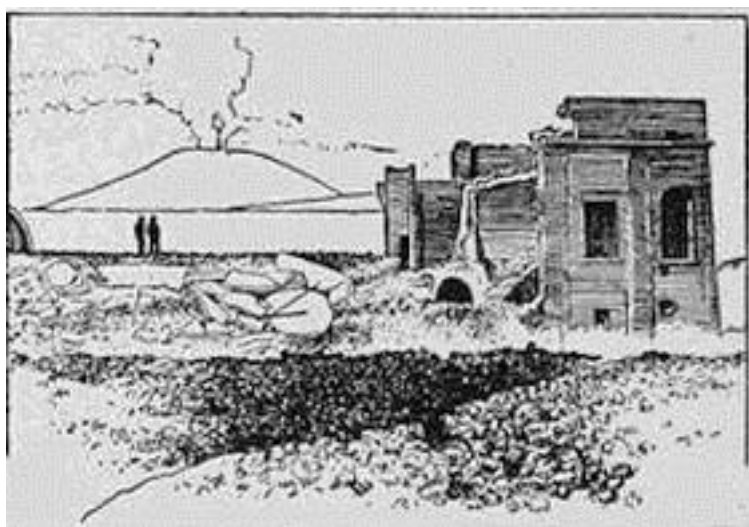


Рис. 140.— Одна из villas в Боскотреказе, разрушенная потоком везувийской лавы в 1906 году. Фрагменты каменной кладки от разрушенных стен уносились потоком лавы, где они иногда погружались в лаву.

Последовательность событий внутри дымохода.—Тщательное изучение этого извержения Везувия позволило нам с некоторой уверенностью сделать вывод о последовательности событий внутри трубы и кратера вулкана, как до, так и во время извержения. Предваряя некоторые выводы, сделанные на основе наблюдаемого расчленения вулканов, которые будут обсуждаться ниже, можно утверждать, что то, что можно было бы назвать сердцевинной составного конуса — дымовой трубой — представляет собой более или менее цилиндрическую пробку из остывшей лавы, которая в период активности жерла имеет внутреннее отверстие, вероятно, переменного калибра. Эта заглушка в нижней части выделена сплошным черным цветом на всех схемах, приведенных на [рис. 141](#). В период образования конуса ([рис. 141 а и b](#)) пробка, очевидно, поднимается вверх вместе с конусом, поскольку лава часто вытекает на уровне нескольких сотен футов только ниже края кратера. Какой процесс происходит при сооружении этого дымохода, не совсем понятно, хотя некоторый свет на это проливает стадия извержения Мон-Пеле в 1902-1903 годах (см. Ниже).

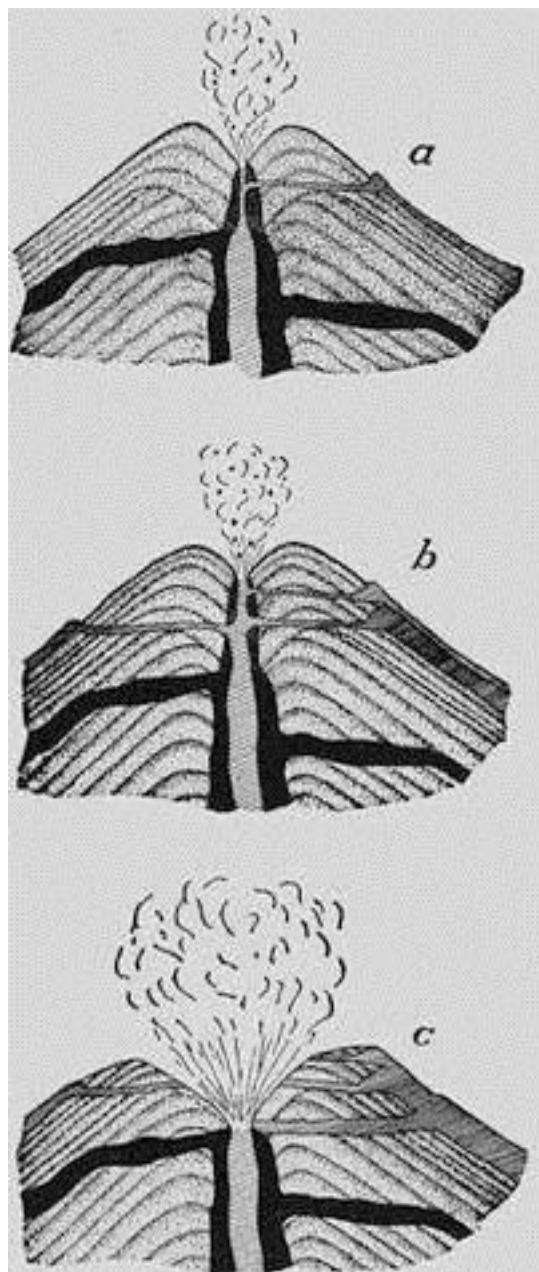


Рис. 141. — Три диаграммы, иллюстрирующие последовательность событий внутри кратера составного конуса в периоды формирования конуса и образования кратеров. *a* и *b*, две последовательные стадии образования конуса, или стромболианский период; *c*, расширение кратера, усечение конуса и разрушение верхней дымовой трубы в течение относительно короткого периода образования кратера, или вулканического периода.

Как старые, так и новые секции этой пробки или дымохода имеют некоторую опору против внешнего давления содержащейся лавы благодаря окружающей их стенке из туфа; и поэтому они находятся в состоянии, мало чем отличающемся от состояния внутреннего ствола большого орудия, на которое натянуты металлические гильзы, чтобы обеспечить опору против разрывного давления. С другой стороны, если не поддерживать гидростатическое давление жидкой лавы внутри, дымоход будет иметь тенденцию к раздавливанию давлением окружающего туфа. Его прочность на разрыв зависит не только от толщины каменных стенок, но и от его внутреннего диаметра или калибра. Паровой цилиндр с заданной толщиной стенки, как хорошо известно, может выдерживать разрывное давление пропорционально тому, насколько мал его внутренний диаметр. Таким образом, в

вулканическом дымоходе любая тенденция к переплавлению изнутри стенок дымохода должна ослаблять их в двойном соотношении.

У нас пока нет точных наблюдений за температурой лавы в вулканических трубах, но кажется почти несомненным, что эти температуры повышаются по мере приближения вулканической стадии, и за таким повышением температуры должно последовать большее или меньшее повторное оплавление стенок трубы. Последовательность событий во время позднего везувийского извержения, таким образом, естественным образом объясняется прогрессирующим повторным слиянием и последующим ослаблением стенок дымохода, что позволяет радиальной трещине открыться ближе к вершине и постепенно расширяться вниз. Таким образом, сначала были открыты небольшие и высокие выпускные отверстия, недостаточные для осушения дымохода, но позже, 7 апреля, после того, как эта трещина была значительно расширена и открылась новая, более крупная, на более низком уровне, началось осушение, и поверхность лавы начала быстро опускаться.

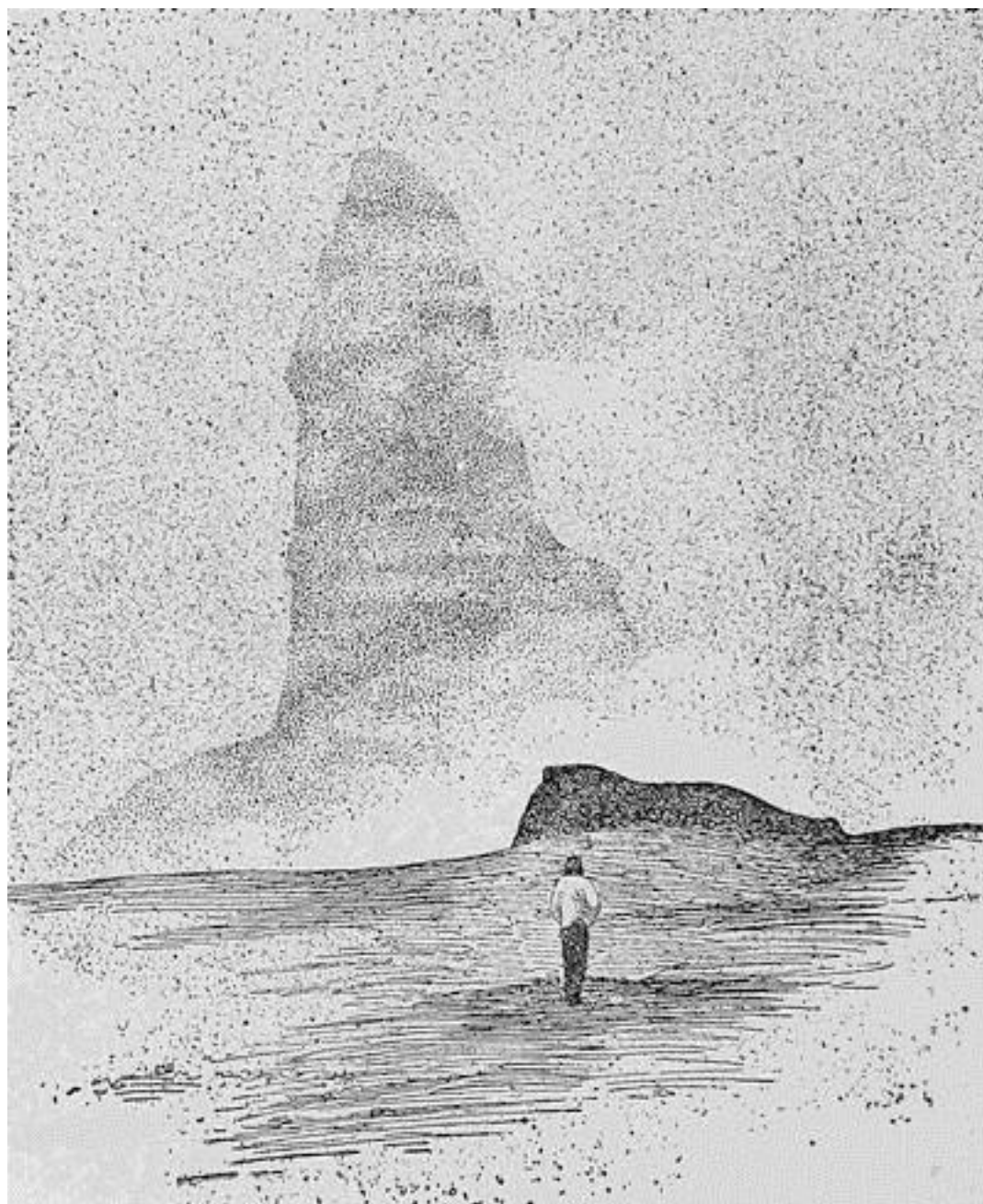


Рис. 142. Хребет Пеле, возвышающийся над дымовой трубой вулкана после извержения 1902 года (после Ховея).

Когда происходило быстрое опускание поверхности лавы, давление в нижних слоях лавы почти сразу снижалось, что вызывало внезапное расширение содержащегося пара и приводило к грандиозным взрывам кратеров. Частично разрушенный и покрытый трещинами верхний дымоход, теперь неспособный противостоять внутреннему давлению окружающих стенок из туфа, поскольку внешнего давления больше не существовало, вдавился внутрь, и его материалы и материалы окружающего туфа превратились в фрагменты свежей лавы, увеличивающиеся в объеме при грандиозных взрывах (рис. 141 с). Итак, в общих чертах, это, по-видимому, условия, на которые указывает последовательность наблюдаемых событий в связи с поздней вспышкой Везувия.

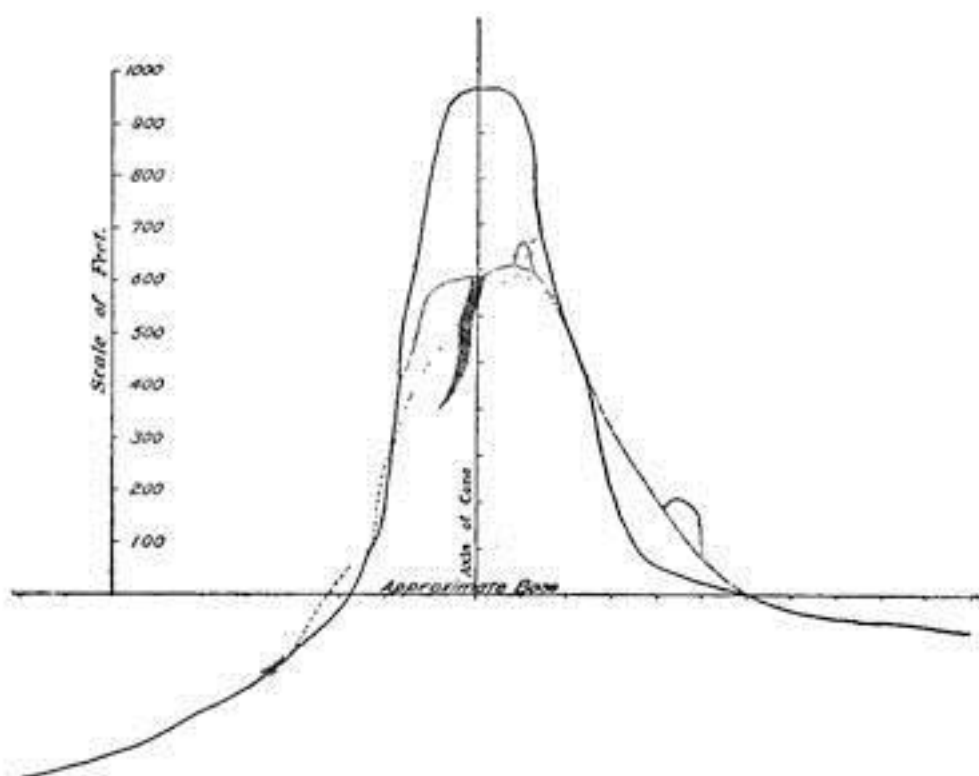


Рис. 143. Очертания хребта Пеле по последовательным датам. Полная линия представляет его контур 26 декабря 1902 года; пунктирная линия - это профиль 3 января 1902 года; в то время как пунктирная линия - это профиль 9 января 1903 года. Темная линия - это трещина (по Э. О. Хови).

Хребет Пеле. Катастрофическое извержение вулкана Мон-Пеле на Мартинике в 1902 году имеет важное значение в связи с интересной проблемой роста вулканических труб вверх в период формирования конуса вулкана. После завершения этого великого вулканического извержения столб лавы поднимался вверх из трубы главного кратера, пока не достиг высоты более тысячи футов над его основанием, что соответствует величине того же порядка, что и вероятная высота верхней части везувийской трубы до извержения 1906 года. Позвоночник Пеле (рис. 142) рос неравномерно, а подвергался меньшим или большим усечениям, но в течение 18 дней рост вверх составлял около 41 фута в день. Позже масса разделилась на вертикальной плоскости, обнажив вогнутую внутреннюю поверхность, и несколько быстро уменьшилась в высоте до 600 футов (рис. 143), только чтобы снова подняться на полную высоту около 1000 футов примерно через три месяца.

Хотя этот обелиск, по-видимому, уникален как наблюдаемое явление и не свободен от неопределенности относительно его интерпретации, рост этого обелиска, по крайней мере, показал нам, что каменная масса может подниматься над дымовой трубой действующего вулкана, даже если вокруг нее нет стен из туфа, которые выдерживали бы ее внешнее давление.

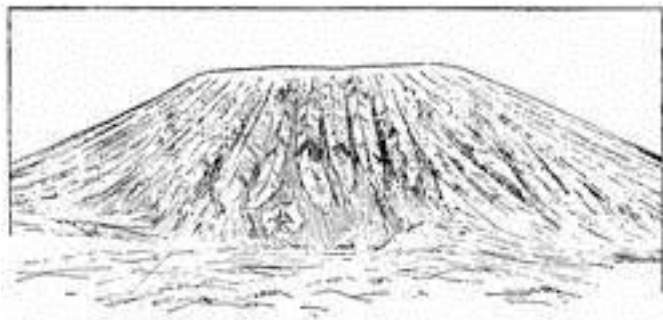


Рис. 144. Рифленая поверхность везувийского конуса после грязевых потоков, последовавших за извержением в 1906 году (после Джонстона—Лависа).

Последствия селевых потоков.—Когда поздневулканические взрывы Везувия подошли к концу, все склоны горы, но особенно более высокие, были покрыты толстыми отложениями пепла цвета какао, среди которых были более крупные и мелкие снаряды. Поскольку этот материал чрезвычайно пористый, он жадно впитывает воду, которая выпадает во время первых последующих дождей. Почти насытившись, она начинает спускаться по склонам горы и вскоре развивает скорость, совершенно противоположную скорости медленно движущейся лавы. Таким образом, верхние склоны обнажаются, в то время как поля и даже дома у подножия затоплены этими потоками грязи (*лава д'аква*). Поскольку эти селевые потоки являются неизбежным последствием всех более масштабных взрывных извержений, итальянское правительство в последнее время потратило большие суммы денег на строительство дамб, призванных остановить их распространение в будущем. Именно такие потоки похоронили город Геркуланум после взрывного извержения 79 года нашей эры.

После образования грязевых потоков на везувийском конусе, как и на всех подобных вулканических конусах при одинаковых условиях, обнаруживаются глубокие радиальные борозды (рис. 144), которые давным-давно были описаны как “барранко” и предположительно подтверждали теорию образования вулканов с “возвышающимися кратерами”.

Вскрытие вулканов. Непосвященному может показаться безнадежным предприятием попытка изучить путем наблюдения внутреннюю структуру вулкана, и особенно сложного вулкана составного типа. Самая ранняя успешная попытка, по-видимому, была предпринята графом Каспаром фон Штернбергом, чтобы доказать правильность теории своего друга, поэта Гете. Гете утверждал, что небольшой холм в окрестностях Эгера, на границе Богемии, был потухшим вулканом, хотя выдающийся геолог того времени знаменитый Вернер провозгласил доктрину о том, что этот холм, как и другие подобные ему, возник в результате сгорания пласта угля. Рассматриваемое возвышение, известное как Каммербюль, состоит в основном из шлаков, и Гете утверждал, что если горизонтально проложить туннель в гору с одного из ее склонов, то под вершиной обнаружится ядро или пробка из лавы. Раскопки, завершенные в 1837 году, полностью подтвердили точку зрения поэта, поскольку была обнаружена лавовая пробка, занимающая центр массива и соединяющаяся с небольшим потоком лавы на склоне холма (рис. 145).

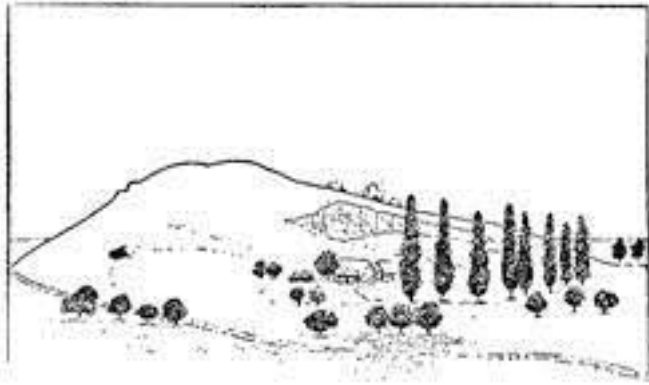


Рис. 145.— Каммербюль близ Эгера, показывающий туннель, построенный в 1837 году, который доказал вулканическую природу горы (в честь Джадда).

Однако здесь речь идет не о таких дорогостоящих проектах, а скорее о процессах, которые постоянно происходят в природе и в гораздо более крупных масштабах. Наиболее важным рассекающим агентом для нашей цели является проточная вода, которая постоянно очищает поверхность земли и обнажает ее скрытые структуры. Насколько более убедительным, чем любые результаты искусственных раскопок, свидетельством внутреннего строения вулкана является памятник, представленный на [рис. 146](#), поскольку здесь лавовая пробка выступает рельефно, как гигантский большой палец, все еще окруженный остатками шлаковых отложений. Такие обнаженные дымоходы бывших вулканов встречаются во многих регионах и стали известны как вулканические *горловины*, *трубы* или *заглушки*.

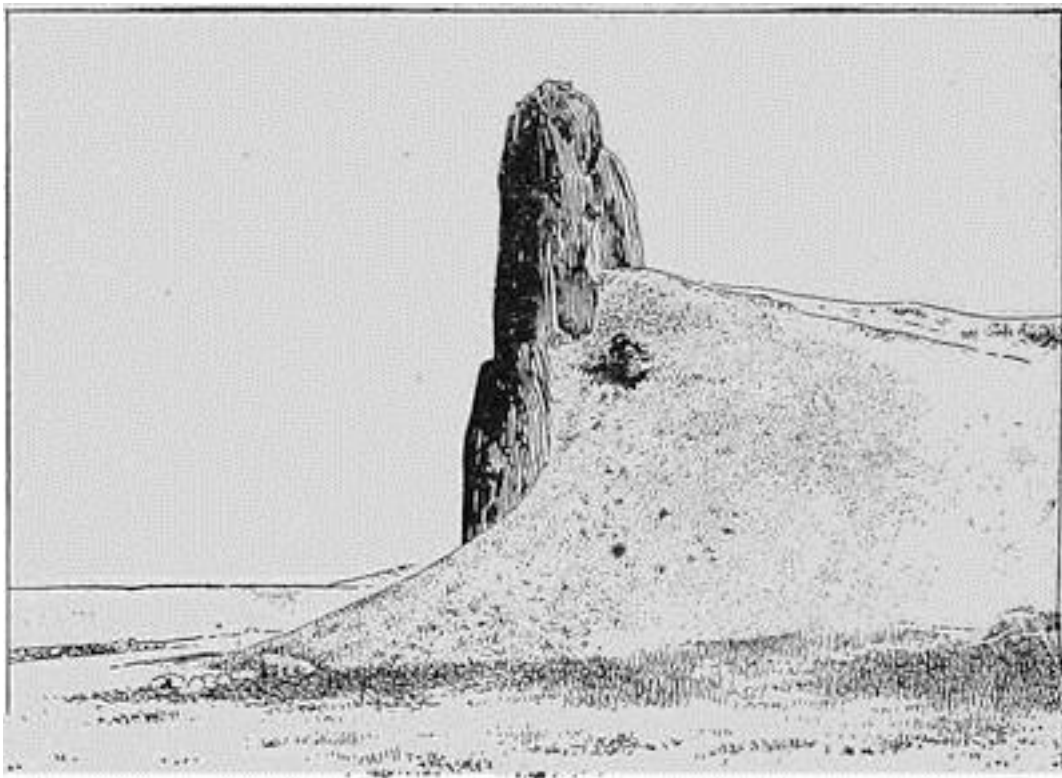


Рис. 146. Вулканическая пробка, обнаженная естественным вскрытием вулканического конуса в Колорадо (США).



Рис. 147. Дамба, срезающая слои туфа в частично расчлененном вулкане на юго—западе Колорадо (после Хау, США).

Нередко слои туфа, слагающие склоны вулкана, при вскрытии тем же способом обнажают рельефные стенки остывшей лавы (рис. 147) — заполнение трещины, которая давала выход склонам горы во время извержения. Изучение обнаженных даек, образовавшихся в связи с недавними извержениями Везувия, показало, что во многих случаях они все еще полые, поскольку лава вытекла из них до полного уплотнения.

Еще одним средством, эффективным при вскрытии погребенных структур вулканов, является воздействие волн на берега. Всегда являясь относительно мощным эрозионным средством, более мягкие структуры вулканических конусов удаляются этим средством с особой легкостью. На берегах острова Вулкан небольшой конус Вулканелло был почти наполовину унесен волнами, чтобы с особым совершенством показать структуру шлаковых отложений, а также внутренний скальный скелет массива. Здесь обнаруживаются характерные провалы лавовых потоков, промежуточные в том виде, в каком они сейчас находятся между отложениями туфа и лавой, которая консолидировалась в трещинах.

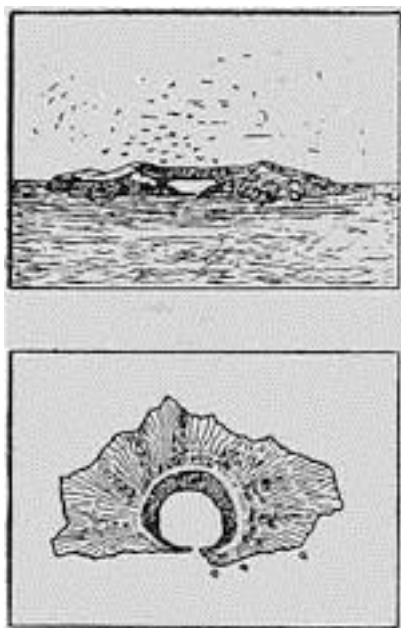


Рис. 148. Карта и общий вид скал Святого Павла, вулканического конуса, рассеченного волнами.

В середине Атлантики довольно совершенный кратер, Скалы Святого Павла, был разрезан почти пополам, чтобы образовалась естественная гавань (рис. 148).

В других случаях мы можем поблагодарить сам вулкан за то, что он открыл внутреннюю часть горы для нашего осмотра. Извержение в 1888 году японского вулкана Бандай-сан, в результате которого была удалена значительная часть древнего конуса, позволило нам полностью пересечь гору. Вершина и одна сторона малого Бандаи были полностью снесены, и на их месте образовался зияющий кратер, расположенный эксцентрично относительно бывшей горы и имеющий свою самую высокую стену высотой не менее 1500 футов (рис. 149). Через два часа после первого предупреждения о взрыве катастрофа была полной, и извержение закончилось.

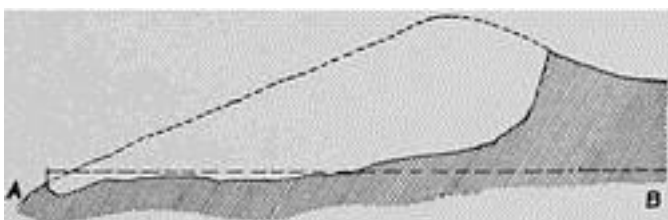


Рис. 149. Расчленение в результате взрыва Маленького Бандаи—сана в 1888 году (после Секии).

Извержение Кракатау в 1883 году, вероятно, самый грандиозный наблюдаемый вулканический взрыв за всю историю, привело к тому, что вулканический конус разделился почти пополам и был открыт для осмотра (рис. 150). Раката, Данан и Пербуатан ранее представляли собой линию конусов, образовавшихся вокруг отдельных кратеров после частичного разрушения более ранней кальдеры, части которой все еще существовали на островах Верлатен и Ланг. В результате извержения 1883 года все открытые части и значительные затопленные участки двух меньших конусов были полностью разрушены, а более крупный, известный как Раката, был разделен сразу за пробкой так, что образовалась отвесная стена, поднимающаяся прямо из моря и демонстрирующая потоки лавы,

чередующиеся с несколько более толстыми слоями туфа, все это соединено многочисленными лавовыми дамбами.

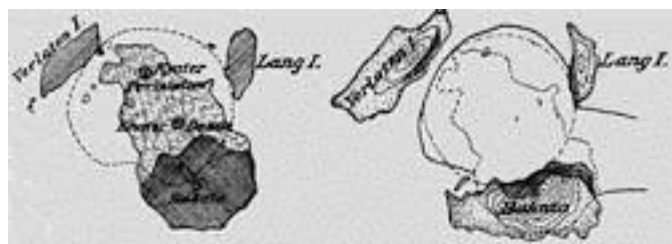


Рис. 150. Полузатопленный вулкан Кракатау в Зондском проливе до и после извержения 1883 года (после Вербика).

Чтобы продолжить наш процесс вскрытия до уровней ниже основания вулканической горы, обычно необходимо осмотреть результаты эрозии проточной водой. Здесь заглушка или дымоход, вместо того чтобы быть окруженной туфом, окружена основной породой региона, которая обычно представляет собой осадочное образование. Такие обнаженные нижние участки вулканических труб многочисленны вдоль северо-западных берегов Британских островов. Там, где они расположены на дислокации или заметной трещине в горных породах, группа пробок называется шрамом или *рубцом* (рис. 151). С пробками рубца нередко связаны дамбы или, возможно, слои лавы, простирающиеся между слоями отложений и известные как *подоконники*.

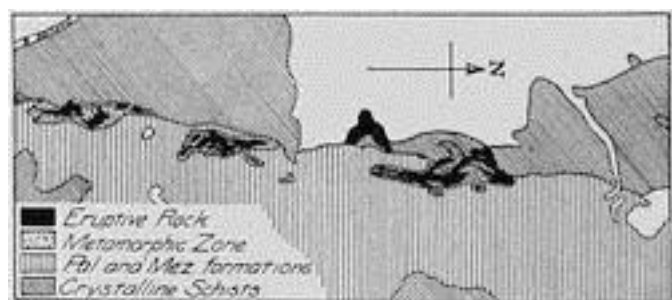


Рис. 151. Рубец в Банате (после Зюссе).

Если мы сможем продолжить процесс вскрытия на еще большую глубину, мы, наконец, столкнемся с магматической породой, имеющей структуру, известную как гранитная, и указывающую на то, что процесс консолидации был не только чрезвычайно медленным, но и непрерывным. Эта порода встречается в массивах больших размеров, и хотя обычно она имеет более или менее неправильную форму, ни одно измерение не отличается по величине от других. Такие массы обычно описываются как *выступы* или, если они особенно велики, как *батолиты* (рис. 152). Везде, где пласты горных пород выглядят так, как будто они были вытеснены восходящим давлением магматической массы, последняя принимает форму гриба и была описана как *лакколит* (рис. 479-481, стр. 441-442). Однако, по-видимому, накапливаются свидетельства того, что в большем числе случаев расплавленная порода прокладывала себе путь наверх, частично ассимилируя, а частично заключая в себе породу, с которой она столкнулась. Этот процесс плавления вверх был уподоблен движению раскаленного железа, прожигающего себе путь через доску.

Образование лавовых резервуаров.—Отказ от более раннего представления о том, что земля имеет жидкую внутреннюю часть, делает уместным при обсуждении темы вулканов, по крайней мере, коснуться происхождения расплавленного горного материала. Как уже указывалось, существующие резервуары должны быть локальными и временными, иначе

было бы трудно понять, как можно поддерживать существующее состояние жесткости грунта. Из скорости, с которой повышается температура горных пород при увеличении глубины залегания под поверхностью, ясно, что все горные породы расплавлялись бы только на очень умеренных глубинах, если бы они не удерживались в твердом состоянии из-за огромных нагрузок, которые они выдерживают. Любое ослабление этой нагрузки должно немедленно привести к расплавлению породы.

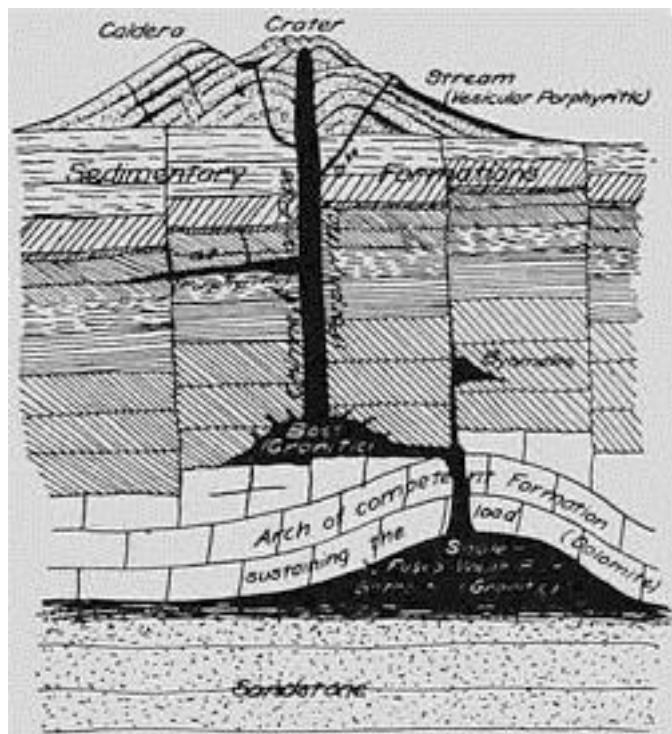


Рис. 152. Схема, иллюстрирующая вероятную причину образования лавовых резервуаров и показывающая связь между такими резервуарами и вулканами на поверхности.

Теперь ограничение действующих вулканов теми зонами земной поверхности, в пределах которых поднимаются горы и, как следствие, ощущаются землетрясения, дало нам, по крайней мере, ключ к разгадке происхождения лавы. Рассматриваемая как конструкция, способная выдерживать нагрузку, способность арки является чем-то весьма примечательным, так что изгибания прочных скальных образований в антиклинали в верхних слоях зоны потока или комбинированного разрушения и потока было бы достаточным для снятия нагрузки с относительно слабых нижележащих пластов, которые, как следствие, сплавившись бы и образовали локальные резервуары лавы (рис. 152 и 153).

Далее было довольно широко замечено, что линии вулканов, в той мере, в какой они обнаруживают какое-либо отношение по положению к соседним горным цепям, имеют тенденцию появляться на задней или более плоской оконечности несимметричных арок или там, где локальное напряжение благоприятствовало бы открытию каналов, ведущих к поверхности. Более того, везде, где в окрестностях вулканов обнаруживались недавние движения блоков в поверхностных частях земной оболочки, последние, по-видимому, связаны с нисходящими блоками, как если бы лава, так сказать, была выдавлена из-под вдавленного блока или блоков.



Рис. 153. Результат эксперимента со слоями композиции для иллюстрации эффекта ослабления нагрузки на горные породы при выгибании соответствующего пласта (по Уиллису).

Однако мы не должны забывать, что магматические породы сильно ограничены по своему химическому составу. Не известно ни одного типа магматических пород, которые могли бы образоваться в результате слияния каких-либо карбонатных пород, таких как известняк или доломит, или более кремнистых пород, таких как песчаник или кварцит. Остается только глинистый класс отложений, глинистые сланцы, и как только мы изучаем состав этих пород, нас поражает поразительное сходство с составом класса магматических пород. Для целей сравнения ниже приводится совокупный или средний состав магматических пород в параллельном столбце со средним значением, полученным путем объединения анализов 56 сланцев, последние пересчитаны без учета воды:

	Средний Магматическая Горная Порода,		Средний Сланцевый	
	(Кларк)	(Вашингтон)		
SiO ₂	61.25	61.69	63.34	
Аш ₂ O ₃	15.81	15.94	15.56	
Fe ₂ O ₃	2.70	1.88	4.41	7.89
Фео	3.61	2.65	3.48	
МГО	4.47	4.90	3.54	
КоАП	5.03	5.02	3.33	
H ₂ O.	3.64	4.09	1.29	
к ₂ O	2.87	3.35	3.52	
- Тио ⁻²	.62	.48	.53	
	100.00	100.00	100.00	

Это близкое сходство, вероятно, имеет глубокое значение по той причине, что сланцы структурно являются самыми слабыми из всех горных пород, и по другой причине, что они, как правило, непосредственно залегают под карбонатными породами, которые, напротив, являются самыми прочными (см. *ante*, стр. 37). По этим причинам глинистые сланцы являются единственными породами, которые, вероятно, могут быть сплавлены при разгрузке от нагрузки путем образования антиклинальных арок в пределах земной зоны стока. Если эта точка зрения обоснована, то лавы и другие магматические породы в значительной степени

представляют собой сплавленные глинистые отложения, образовавшиеся в связи с процессом складчатости, или представляют собой отброшенные породы магматического происхождения и аналогичного состава.

Профили персонажей.—Профили характеристик объектов, связанных по своему происхождению с вулканами, особенно легко распознать, и в нескольких случаях, когда их можно спутать с другими объектами другого происхождения, изучение материалов, на которых они изображены, должно привести к окончательному суждению.

Лавовые равнины, образовавшиеся в результате массивных оттоков базальта, возможно, строго можно рассматривать как отсутствие каких-либо особенностей, настолько велика может быть их непрерывная протяженность. Везде, где существуют определенные жерла, широкий плоский купол является обычным результатом экстравазации базальтовой лавы. Пюи во Франции и многие из Куппенов в Германии, образованные из менее текучей лавы, имеют профили с относительно небольшим радиусом кривизны.

На ранней стадии шлаковый конус обычно представляет собой широкий прогиб вершины и относительно короткие боковые уклоны, тогда как конус более поздних стадий склонен представлять собой длинные размашистые и вогнутые кверху изгибы, причем как уклон, так и радиус кривизны быстро увеличиваются к вершине. В отличие от более ранней стадии, гребень также относительно небольшой. Заметное снижение высокой симметрии таких профилей отмечается везде, где произошло нарушение излияния лавы (рис. 154).

В случае составного конуса возникает сложность и соответствующее отсутствие симметрии, особенно в частично разрушенной кальдере, а также более или менее случайное распределение паразитных конусов, а также миграции центрального конуса. Особенно похожие заостренные профили возникают в результате образования конуса брызг, образования сверххимного хребта и раскрытия трубы в результате денудационных процессов - вулканической шейки.

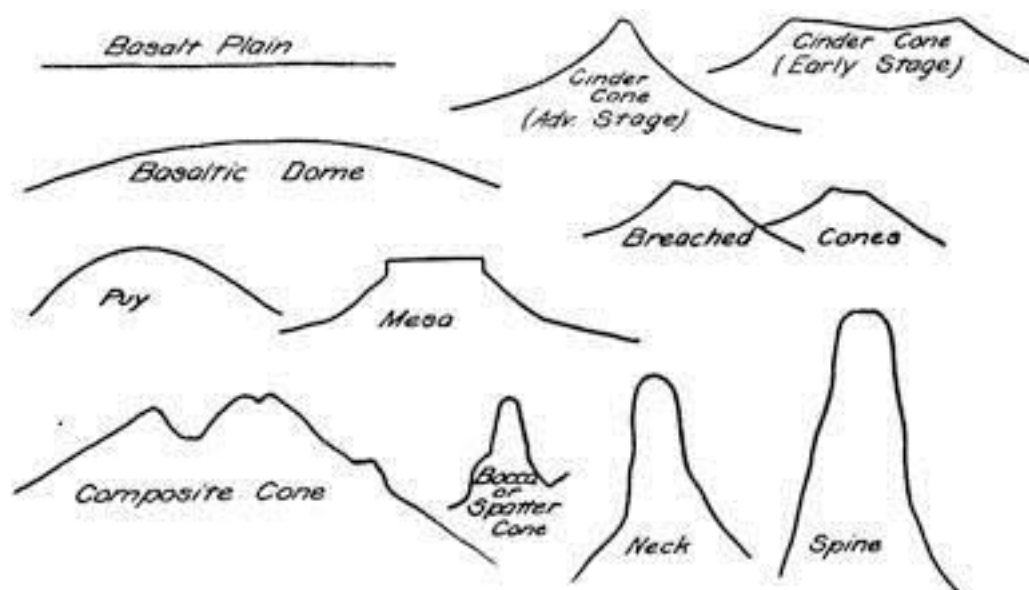


Рис. 154. Профили персонажей, связанные с вулканами.

Другой важной особенностью, возникшей в результате денудации, является горная гора Меца, или столовая гора, с ее защитной базальтовой шапкой над более мягкими породами.

Его профиль больше всего напоминает профиль столовых гор из-за дифференциальной эрозии попеременно сильных и слабых горизонтально залегающих пород, таких как породы, составляющие верхнюю часть разреза в Гранд-Каньоне в Колорадо. Здесь, однако, вместо одного необычно прочного верхнего слоя обнаружено несколько прочных слоев, чередующихся с более слабыми, чтобы создать дополнительные ступени в профиле.

Чтение ссылок на главы IX и X

Общие работы:—

Полетт Скроуп. Геология потухших вулканов Центральной Франции. Джон Мюррей, Лондон, 1858, стр. 258. (Эпохальная работа раннего периода, которую, как и следующую ссылку, можно с пользой изучить и сегодня.)

Сэр Чарльз Лайелл. Принципы геологии, том 1, главы xxiii-xxv.

Melchior Neumayr. Erdgeschichte, том 1, Allgemeine Geologie, переработанное издание B. Uhlig, 1897, стр. 133-277 (четко изложенный кладезь ценной информации).

Дж. Д. Дана. Характеристики вулканов с изложением фактов и принципов с Гавайских островов. Додд, Мид и компания, Нью-Йорк, 1890, стр. 397.

Темпест Андерсон. Исследования вулканов во многих странах, представляющие собой репродукции фотографий автора с пояснительными примечаниями. Джон Мюррей, Лондон, 1903, стр. 200, стр. 105.

Т. Г. Бонни. Вулканы, их структура и значение. Джон Мюррей, Лондон, 1899, стр. 331.

И. К. Рассел. Вулканы Северной Америки. Макмиллан, Нью-Йорк, 1897, стр. 346.

Elisée Réclus. "Вулканы земли", Бельгийское общество астрономии, метеорологии и физики земного шара, 1906-1910 (ценный описательный географический и библиографический справочный труд).

Г. Меркалли. I vulcani attivi della terre. Хепли, Милан, 1907, стр. 421. (Ценнейшее произведение, прекрасно иллюстрированное, но на итальянском языке.)

Расположение вулканических жерл:—

Т. Торродсен. Die Bruchlinien und ihre Beziehungen zu den Vulkanen, Pet. Митт., т. 51, 1905, стр. 1-5, стр. 5.

Р. Д. М. Вербик. Различные тома и атласы карт, охватывающие Голландскую Ост-Индию и полностью цитируемые в следующей ссылке (стр. 21).

Уильям Х. Хоббс. Эволюция и перспективы сейсмической геологии, Сборник научных трудов, том 48, 1909, стр. 17-27.

Рождение вулканов:—

Ф. Омори. Извержение вулкана Усу-Сан, землетрясение и явления возвышения, Бык. Earthq. Inv. Com., Япония, том 5, № 1, 1911, стр. 1-37, стр. 1-13.

Трещинные извержения:—

Т. Торродсен. Остров, IV, Вулкан, Пет. Mitt., Ergänzungsh. 153, 1906, pp. 108-111.

А. Гейки. Учебник геологии, 4-е изд., стр. 342-346.

Лавовые купола Гавайев:—

Дж. Д. Дана. Характеристики вулканов (как указано выше).

Ч. Х. Хичкок. Гавайи и их вулканы. Гонолулу, 1909, стр. 314.

Извержение вулкана Матавану в 1906 году:—

Карл Сапер. Der Matavanu-Ausbruch auf Savaii, 1905-1906, Zeit. d. Gesell. f. Erdk. z. Berlin, vol. 19, 1906, pp. 686-709, 4 pls.

Х. Дж. Дженсен. Геология Самоа и извержения вулкана Саваи, Прок. Linn. Soc., Новый Южный Уэльс, том 31, 1906, стр. 641-672, стр. 54-64.

Темпест Андерсон. Вулкан Матавану в Саваи, Кварт. Jour. Геол. соц., Лондон, том 66, 1910, стр. 621-639, стр. 45-52.

Извержение вулкана в 1888 году:—

Х. Дж. Джонстон-Лавис. Вулканы Южной Италии. Неаполь, 1891, стр. 342, стр. 16.

Извержение вулкана Тааль в 1911 году:—

У. Э. Пратт. Извержение вулкана Таал, 30 января 1911 г., Фил. Журнал научных исследований, том 6, № 2, раздел А, 1911, стр. 63-86, стр. 1-14.

Ф. Х. Нобл. Вулкан Таал, альбом видов извержения 1911 года, Манила, 1911, стр. 1-48.

Вулкан Этна:—

G. vom Rath. Der Aetna. Бонн, 1872, стр. 1-33. (Прекрасный фрагмент описательного письма как с геологической, так и с живописной точек зрения.)

Sartorius von Waltershausen. Der Aetna. Лейпциг, 1880, 2 тома кварто., стр. 371 и 548.

Извержение Везувия в 1906 году:—

Х. Дж. Джонстон-Лавис. Геологическая карта Монте-Соммы и Везувия с кратким описанием и т.д. Гео. Филип и сын, Лондон, 1891.

Х. Дж. Джонстон-Лавис. Извержение Везувия в апреле 1906 г., пер. Рой. Дублинский сборник, том 9, 1909, Стр. VIII, стр. 139-200, стр. 3-23 (наиболее авторитетная работа по этому вопросу).

Т. А. Джаггар-младший Вулкан Везувий в 1906 году, технология. Кварт., т. 19, 1906, с. 105-115.

W. Prinz. L'éruption du Vesuv d'avril, 1906, Ciel et Terre, 27e Année, 1906, pp. 1-49.

Фрэнк А. Перре. Заметки об электрических явлениях извержения Везувия, апрель 1906 г., Научный бюллетень, Бруклинский институт. Искусство и наука., том 1, № 11, стр. 307-312; Везувий, Характеристики и явления нынешнего периода покоя, Журнал Am. Jour. Sci., том 28, 1909, стр. 413-430.

Уильям Х. Хоббс. Грандиозное извержение Везувия в 1906 году, журнал. Геол., т. 14, 1906, с. 636-655.

Хребет Пеле:—

Э. О. Хови. Новый конус Мон-Пеле и ущелье Ривьер-Бланш, Мартиника, Журнал Am. Jour. Sci., том 16, 1903, стр. 269-281, стр. 11-14.

А. Хейлприн. Башня Пеле. Филадельфия, 1904, стр. 62, стр. 22.

А. Лакруа. La montagne Pelée et ses éruptions, Acad. des Sciences, Paris, 1904, Chapter iii.

Карл Сапер. In den Vulkangebieten Mittelamerikas und Westindiens, Stuttgart, 1905, pp. 172-178.

А. С. Лане. Поглощенные газы вулканизма, Наука, N.S., том 18, 1903, стр. 760.

Г. К. Гилберт. Механизм позвоночника Мон-Пеле, *там же.*, том 19, 1904, стр. 927-928.

И. К. Рассел. Еще раз обелиск Пеле, *там же.*, том 21, 1905, стр. 924-931.

Вскрытие вулканов:—

Дж. У. Джадд. Вулканы, глава V.

С. Секья и Ю. Кикучи. Извержение вулкана Бандаи-Сан, пер. с англ. Seis. Soc., Япония, том 13, Часть 2, 1890, стр. 140-222, стр. 1-9.

Р. Д. М. Вербик. Krakatau. Батавия, 1885, стр. 557, стр. 25.

Королевское общество. Извержение Кракатау и последующие явления. Лондон, 1888, стр. 494.

Г. К. Гилберт. Отчет о геологии гор Генри, География США. и геол. Обзор района Скалистых гор, Вашингтон, 1877, стр. 22-60.

Сэр А. Гейки. Древние вулканы Великобритании, том. Особенно 2.

Д. В. Джонсон. Вулканические шейки в районе Маунт-Тейлор, Нью-Мексико, Булл. Геол. соц. Ам., т. 18, 1907, с. 303-324, стр. 25-30.

ГЛАВА XI

НАСТУПЛЕНИЕ НЕПОГОДЫ

Два противоположных процесса выветривания.—Уже указывалось, что изменение, а не стабильность - это порядок природы. Внутри внешней оболочки земли и на ней постоянно происходят изменения горных пород, и с некоторых участков ее поверхности измененный материал столь же постоянно мигрирует в соседние или даже очень отдаленные регионы. Прежде чем начать такую транспортировку, твердая порода должна быть сначала разрушена и измельчена на фрагменты, перемещать которые компетентны транспортирующие организации.

Для осуществления такого разрушения или *дегенерации* горных пород необходим либо широкий диапазон температур, либо химическая реакция. В атмосфере обнаружены такие активные химические вещества, как кислород и диоксид углерода, так называемый углекислый газ; и эти вещества в присутствии воды вступают в химическую реакцию с минералами горных пород и образуют другие минералы, такие как гидраты и карбонаты, которые легче по весу и более растворимы. Это *химическое* воздействие на внешнюю оболочку литосферы описывается как *разложение*.

С другой стороны, порода может подвергаться изменениям, которые носят чисто механический характер и обусловлены либо напряжениями, создаваемыми разницей между поверхностной и внутренней температурами, либо проникающим действием мороза в расщелинах. Такое чисто механическое вырождение горных пород контрастирует с разложением и описывается как *дезинтеграция*. Однако два процесса разложения и дезинтеграции могут протекать одновременно; и изменения объема, вызванные разложением, могут непосредственно привести к значительному распаду, как мы увидим.

Роль просачивающейся воды.—Для осуществления химического изменения или реакции важно, чтобы вещества, которые должны вступать в реакцию, были приведены в такой тесный контакт друг с другом, которого редко можно достичь, кроме как путем растворения. Химические реакции, которые протекают между газовой атмосферой и твердой литосферой, осуществляются путем растворения газов в воде. Эта вода, получаемая в результате дождя или снега, просачивается в землю или спускается по расщелинам в скалах, унося с собой определенное количество растворенного воздуха. Этот воздух отличается от окружающей атмосферы тем, что содержит относительно большое количество кислорода и другого активного элемента - углекислого газа. Из важной роли, которую, таким образом, выполняет просачивающаяся вода, следует, что процесс разложения будет относительно важен во влажных регионах, где атмосферных осадков достаточно для этой цели.

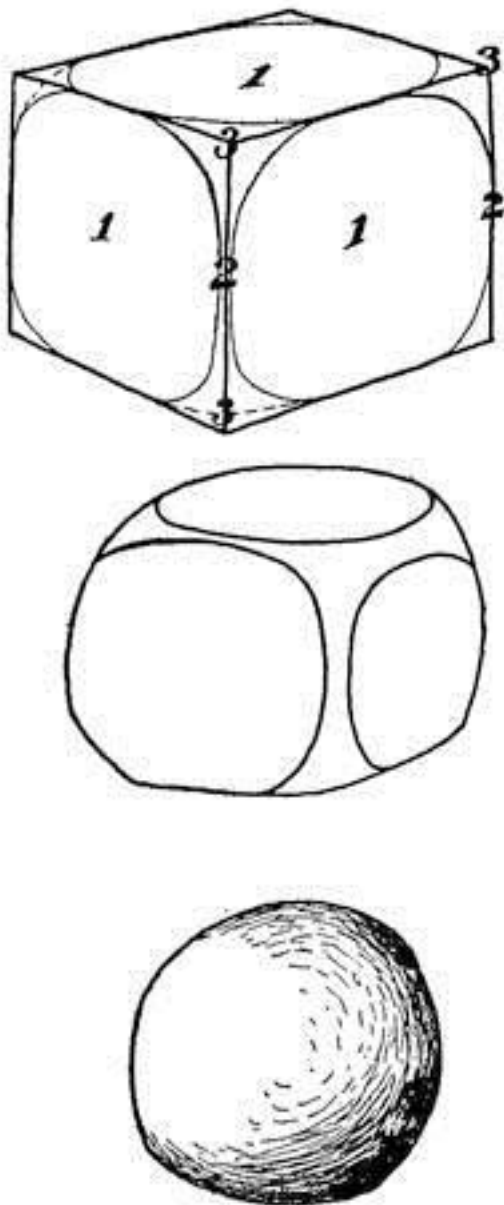


Рис. 155. Последовательные диаграммы, показывающие влияние разложения и возникающей в результате дезинтеграции на соединяемые блоки с образованием сфероидальных валиков в результате атмосферных воздействий.

В жарких и сухих регионах происходит большая степень разрушения горных пород, и при более высоких температурах и более концентрированных солевых растворах происходят отчетливые химические изменения, отличные от таковых во влажных регионах. Обсуждение таких изменений будет отложено до тех пор, пока условия пустыни не будут рассмотрены в другой главе.

Механические результаты разложения —сфероидальное выветривание.— Из предыдущей главы мы узнали, что породы самой внешней оболочки земли обычно пересекает система вертикальных трещин, которые в каждом месте имеют тенденцию разделять породу на параллельные и вертикальные прямоугольные призмы. Именно эти стыки обеспечивают относительно легкие пути для спуска воды в скалы. В породах осадочного происхождения, помимо вертикальных швов, обнаруживаются плоскости залегания, первоначально горизонтальные, а в интрузивных и вулканических породах наблюдается несколько сходный разрез, также параллельный поверхности земли.

Совокупный эффект швов и дополнительных разделительных плоскостей, таким образом, заключается в разделении горной массы на более или менее правильные квадратные блоки (рис. 155, верхний рисунок), которые выстраиваются в вертикальные колонны.

Вода, которая просачивается вниз на стыки, находит свой путь в боковом направлении вдоль разделительных плоскостей и, таким образом, подвергает всю поверхность каждого блока одновременному воздействию его реагентов. Хотя все части поверхности каждого блока одинаково подвержены атакам, наиболее энергично воздействуют именно на углы и кромки. В узких щелях растворы движутся, но вяло, и поскольку при воздействии на породу они вскоре теряют свои реагенты, свежий раствор может достигать середины забоев с относительно небольшого числа направлений. В то же время края достигаются со многих других направлений, а углы - с еще большего числа.

Минералы, вновь образовавшиеся в результате этих химических процессов гидратации и карбонизации, заметно легче и, следовательно, более объемны, чем минералы, из компонентов которых они в значительной степени образовались. Таким образом, возникают деформации, которые имеют тенденцию отделять более объемный новый материал от ядра неизменной породы внизу. По мере продолжения процесса образуются отдельные каналы для движущихся вод, благоприятные для воздействия на края и углы блоков. В конце концов, в результате этого процесса квадратный блок превращается в сфероидальную сердцевину из все еще неизменной породы, обернутую слоями разложившегося материала, подобно внешней оболочке луковицы. Они, в свою очередь, обычно погружены в более тщательно измельченный материал, из которого исчезла структура оболочки (рис. 156).

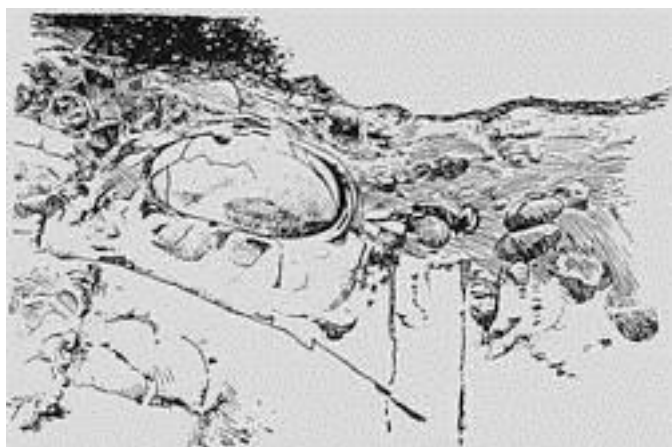


Рис. 156. Сфероидальное выветривание магматической породы.

Отслаивание или образование окалины.—Факт, имеющий большое значение для геологов, но слишком часто упускаемый из виду, заключается в том, что горные породы являются плохими проводниками тепла. Это приводит к тому, что при ярком солнце летнего дня тонкая пленка, так сказать, на поверхности камня может нагреваться до относительно высокой температуры, хотя слой непосредственно под ней практически не подвергается воздействию. Последующее расширение поверхностного слоя вызывает напряжения, которые имеют тенденцию смещать его с нижележащего слоя, который, в свою очередь, обнажается, вызывая новые деформации того же рода. Этот процесс отслаивания приобретает исключительное значение в пустынных регионах, где поверхность горных пород ежедневно подвергается воздействию чрезмерно высоких температур (см. [Главу XV](#)).

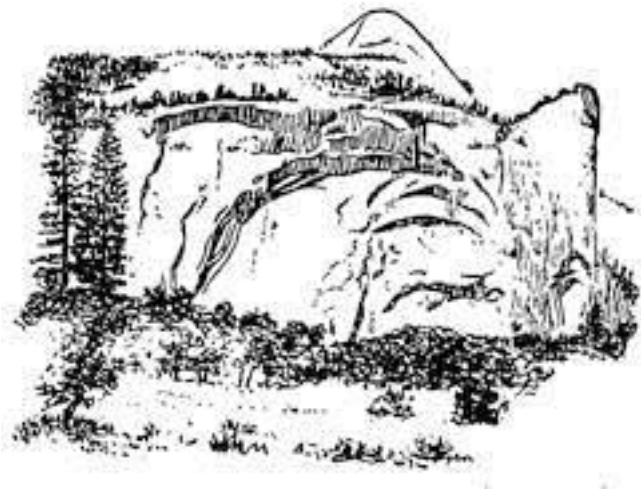


Рис. 157. Купольная конструкция в гранитном массиве, долина Йосемити, Калифорния (по фотографии Синклера).

Купольная конструкция из гранитных массивов.—В больших гранитных массивах, таких, какие встречаются в хребтах Сьерра-Невада в Калифорнии, иногда обнаруживается своеобразная куполообразная структура, развитая в больших масштабах и оказавшая важное влияние на разрушение породы и на формирование горы (рис. 157). Такая структура, состоящая из огромных слоев, может иметь мало общего с наслоениями выветрившихся минералов, которые являются результатом отслаивания, и вполне вероятно, что структура купола каким—то образом связана с освобождением этих массивных пород от их нагрузки - породы, которая когда-то покоилась на них, но была унесена эрозией после подъема хребта.

Назойливая работа фроста.—Во всех странах, где зимние температуры колеблются ниже точки замерзания воды, наиболее мощным фактором разрушения горных пород является иней, который проникает в каждую щель и трещинку на поверхности породы. Важный в умеренных зонах, в полярных регионах он становится почти единственным эффективным средством выветривания горных пород. Здесь, как и везде, его эффективность в качестве разрыхлителя напрямую зависит от характера трещин в породе, так что вездесущие соединения способны осуществлять такую степень контроля над рельефом поверхности, которую вряд ли можно ожидать в других местах (см. Фото 10 А).

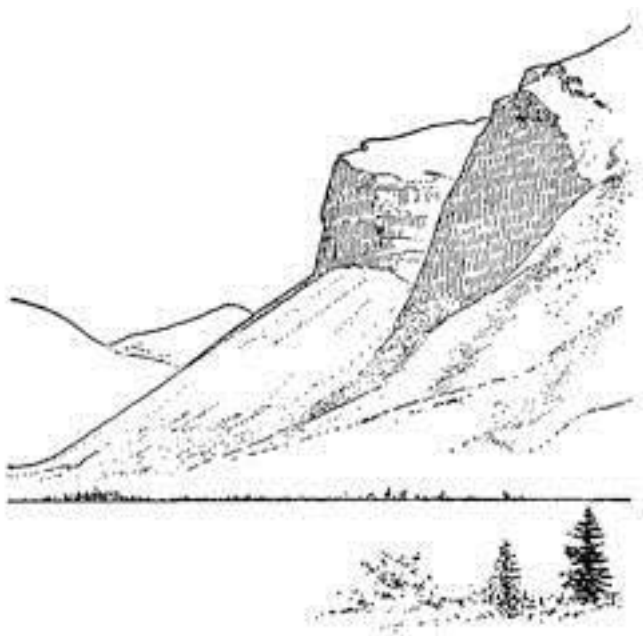


Рис. 158.— Осыпной склон под обрывом.

Осыпь.—Везде, где поверхность земли поднимается крутыми утесами, фрагменты породы, образовавшиеся в результате замерзания или других процессов дезинтеграции, по мере их отделения либо падают, либо быстро скользят вниз, пока не остановятся на более пологом склоне. На более ранних скоплениях такого рода откладываются более поздние до тех пор, пока их поверхность не станет подниматься к поверхности утеса настолько круто, насколько сможет залегать материал - угол покоя. Такие скопления обломков у основания скалы (рис. 158) известны как *осыпь*, а склон описывается как осыпной откос, или в Шотландии как “осыпь”.



Рис. 159. Полоса грунта, образованная потоком обломков скал на склоне, остров Сноу Хилл, Западная Антарктида (в честь Отто Норденшельда).

Текучесть почвы при постоянном присутствии талых вод.—Как только горные породы разрушаются в результате процессов выветривания, их легко перемещать, обычно на более низкие уровни. Частично эта транспортировка может осуществляться под действием силы тяжести, медленно действующей на разрушенную породу и заставляющей ее сползать вниз по склону. Однако даже в таких случаях вода обычно присутствует в количестве, достаточном для заполнения промежутков между зернами, и, таким образом, действует как смазка, облегчающая миграцию.

В больших масштабах горные породы, которые либо изначально были несвязными, либо стали такими в результате выветривания, после того, как они пропитались водой, могут начать внезапное движение в виде крупных оползней или лавин, которые в течение нескольких мгновений существенно меняют облик страны и, погребая под собой нижние слои суши, оставляют после себя бедствия и невзгоды.

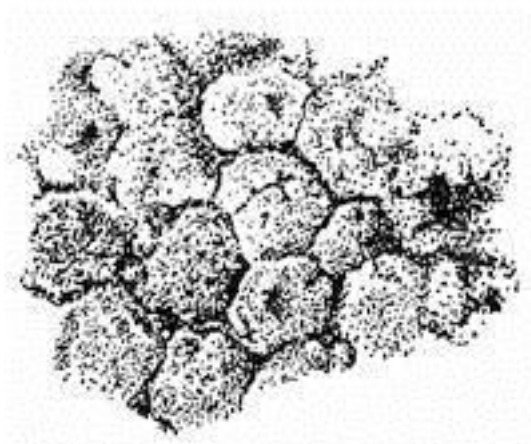


Рис. 160. Покрытие горизонтальной поверхности из—за потока грунта, Шпицберген (по Отто Норденшельду).

В приполярных регионах, где большая часть поверхности большую часть года покрыта снегом, подстилающие породы в течение длительных периодов времени насыщаются талой водой и попеременно неоднократно замерзают и оттаивают. По существу, аналогичные условия наблюдаются в высоких, покрытых снегом горах умеренных или жарких регионов. В частности, для приполярных регионов в настоящее время общепризнано, что характерны несколько особые процессы почвенного стока, описанные под названием *солифлюкция*. Точная природа этих процессов пока изучена недостаточно, но не может быть никаких сомнений относительно большой роли, которую они сыграли в транспортировке поверхностных материалов. Такой почвенный сток отчетливо проявляется в различных аспектах, и вполне вероятно, что под этим всеобъемлющим термином были объединены различные процессы.

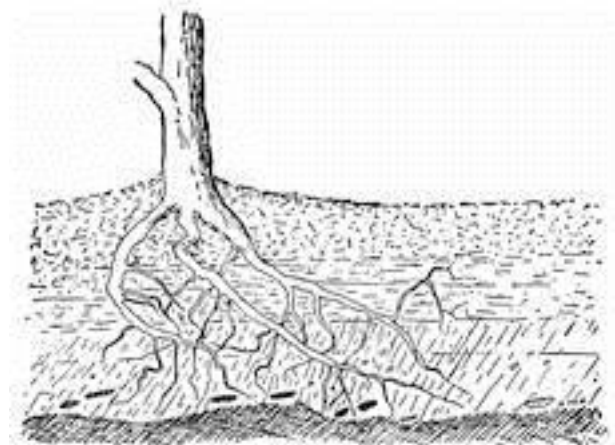


Рис. 161. Корни деревьев проникают в трещиноватую породу и раздвигают ее участки.

Возможно, наиболее поразительным аспектом почвенного стока в приполярных регионах являются замечательные “каменные реки” и “скальные ледники”; хотя более общей характеристикой являются своеобразные полосы или другие отметины, которые появляются на поверхности земли и, таким образом, выдают движение подстилающих материалов. На склонах нередко поверхность состоит из угловатых скальных обломков, расколотых морозом и пересеченных широкими параллельными бороздами, как будто по ней прошелся гигантский плуг (рис. 159). Направление борозд всегда вверх и вниз по склону, а полосатость размечается пропорционально крутизне склона. Там, где достигается дно, борозды заменяются своего рода мозаичным покрытием из повторяющихся шестиугольных фигур, каждая из которых может представлять собой участок поверхности шести футов или более в поперечнике (рис. 160 и рис. 390, стр. 368). Углубления, разделяющие “блоки” тротуара, часто заполняются глиной, в то время как прилегающие поверхности состоят из камня с крупной крошкой.

Раскалывающиеся клинья корней и деревьев.—В механическом разрушении горных пород во влажных регионах немаловажную роль иногда играют деревья, которые проникают тонкими концами своих корешков в мельчайшие трещины и продолжающим ростом медленно раздвигают даже более твердые породы (рис. 161). Подобным образом ствол небольшого дерева, растущего в расщелине скалы, со временем может расколоться на части (рис. 162).

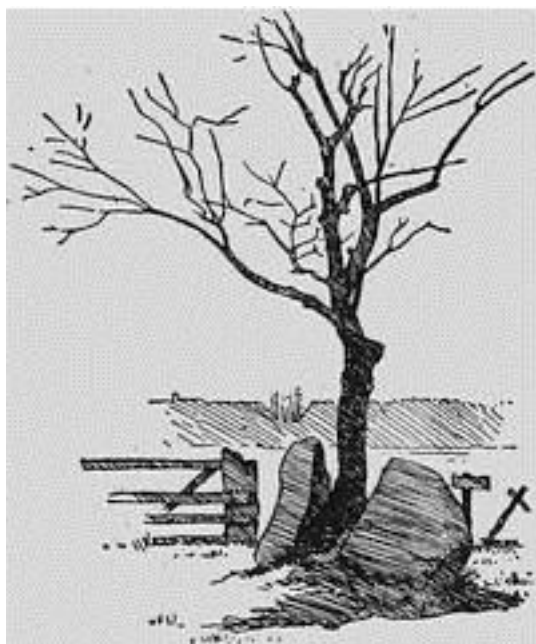


Рис. 162. — Большая ледниковая котловина, расколотая растущим деревом недалеко от Ист-Лансинга, Мичиган (по фотографии Берты Томпсон).

Скальная мантия и ее щит в ковре растительности.—Под действием выветривания горные породы, как мы видели, теряют свою целостность в поверхностном слое, который, хотя и может достигать ста футов или более в толщину, все же следует рассматривать как простую пленку над подстилающей породой. Механические агенты разрушения действуют только в пределах нескольких футов от поверхности, а агенты разложения горных пород, поступающие из атмосферы, становятся инертными еще до того, как они опустятся на сколь-нибудь значительную глубину. Поверхностный слой некогерентной породы обычно называют *мантией породы* (рис. 163). Там, где скальный покров находится относительно глубоко, как это происходит в штатах к югу от Огайо на востоке Соединенных Штатов, глубоко под внешним слоем почвы обнаруживается частично разложившаяся порода, в которой неизменные минералы лежат в неизменном положении, но отделены новыми минералами, образовавшимися в результате распада их более восприимчивых ассоциатов. Обладая, таким образом, в определенном смысле первоначальной структурой, этот измененный материал по существу некогерентен и легко поддается воздействию кирки и заступа, так что неизменная порода встречается только на значительно больших глубинах.



Рис. 163. Скальный покров, состоящий из битой породы, поверх которой находится почва и подстилка для овощей. Побережье Калифорнии (по фотографии Фэрбенкса).

Из-за склонности мантийных пород сползать по склонам они обычно оказываются толще на гребнях и у оснований холмов и тоньше всего на их склонах (рис. 164).

При превращении верхней части мантийной породы в почву химические процессы, дополнительные к процессам выветривания, осуществляются с помощью дождевых червей, бактерий и других организмов, а также под действием гумуса и других кислот, образующихся при разложении растительности. Бактерии играют особую роль в образовании карбонатов, а также в преобразовании азота воздуха в нитраты, которые становятся доступными в качестве растительной пищи. Во влажных тропических регионах муравьи и другие насекомые играют важную роль в разложении горных пород, а также в образовании немаловажных неровностей поверхности.



Рис. 164. Диаграмма, показывающая различную толщину мантийных пород на различных участках поверхности холма (после Чемберлина и Солсбери).

Насколько важен растительный покров для сохранения скального покрова и верхнего слоя почвы в их соответствующих положениях, как это требуется для сельскохозяйственных целей, лучше всего можно проиллюстрировать на катастрофических последствиях допущения его разрушения. Везде, где в результате уничтожения лесов, чрезмерного выпаса животных или по другим причинам был разрушен дерновый покров, поверхность в оврагах вскрывается первым сильным дождем, и плодородный слой почвы сносится со склонов и распределяется более грубым покровом по нижним слоям. Таким образом, облик страны полностью преобразуется из плодородных холмов в самую безжизненную пустыню, где не видно ни копейки травы и где нельзя добыть животную пищу (фото 5 А). Размытая почва больше не обновляется, поскольку продолжение процесса осыпания оврагов теперь эффективно предотвращает ее накопление.

Табличка 5.



А. Некогда лесистый регион в Китае теперь превратился в пустыню из-за вырубки лесов (после Уиллиса).



Б. “Плохие земли” в пустыне Колорадо (по Менденхоллу).

Чтение ссылок на главу XI

Разложение и дезинтеграция:—

Джордж П. Меррилл. Принципы выветривания горных пород, журнал. Геология., том 4, 1896, стр. 704-724, 850-871. Горные породы, выветривание горных пород и почвы. Макмиллан, Нью-Йорк, 1897, Ч. iii, стр. 172-411.

Алексис А. Жюльен. О геологическом действии гумусовых кислот, проф. А.М. Доц. Адв. наука., том 28, 1879, стр. 311-410.

Коррозия горных пород:—

К. У. Хейс. Раствор кремнезема в атмосферных условиях, Бык. Геол. соц. Ам., т. 8, 1897, с. 213-220, стр. 17-19.

М. Л. Фуллер. Травление кварца внутри конгломератов, журнал. Геол., том 10, 1902, стр. 815-821.

Ч. Х. Смит-младший. Замена кварца пиритом и коррозия кварцевой гальки. Журнал науки. (4), том 19, 1905, стр. 282-285.

Купольная структура из гранитных массивов:—

Г. К. Гилберт. Купола и купольная структура Высокой Сьерры, Бык. Геол. соц. Ам., том 15, 1904, стр. 29-36, стр. 1-4.

Ральф Арнольд. Купольная структура в конгломерате, *там же.*, том 18, 1907, стр. 615-616.

Поток почвы:—

Й. Гуннар Андерссон. Солифлюкция, компонент субаэриальной денудации, Журнал. Геол., т. 14, 1906, с. 91-112.

Otto Nordenskiöld. Die Polarwelt und ihre Nachbarländer, Leipzig, 1909, pp. 60-65.

Эрнест Хоу. Оползни в горах Сан-Хуан, Колорадо и др., проф. пап., 67 геол. США. Обзор, 1909, с. 1-58, стр. 1-20.

Г. Э. Митчелл. Оползни и обвалы горных пород, нац. Geogr. Mag., vol. 21, 1910, pp. 277-287.

Уильям Х. Хоббс. Полосы почвы в холодных влажных регионах и родственное явление, 12-я Репта. Mich. Акад. наук, 1910, с. 51-53, стр. 1-2.

Связь обезлесения с эрозией:—

Н. С. Шалер. Происхождение и природа почв, 12-я годовщина. Rept. Геол. США. Обзор, 1891, Ч. 1, с. 268-287.

У. Дж. Макги. Формирование Лафайета, *там же.*, стр. 430-448.

Ф. Х. Кинг. Почвы. Макмиллан, Нью-Йорк, 1908, стр. 50-54.

Бейли Уиллис. Циркуляция воды и ее контроль, представитель Nat. Conserv. Com., 1909, т. 2, с. 687-710.

У. Дж. Макги. Эрозия почвы, Вып. 71, Бюро почв США, 1911, стр. 60, стр. 33.

ГЛАВА XII

ИСТОРИИ ЖИЗНИ РЕК

Замысловатый узор речных гравюр.—Воздействие погоды на твердую литосферу разрушает целостность ее поверхностного слоя и, превращая ее в каменные обломки, делает ее естественной добычей любого агента, способного переносить ее по поверхности. Мы видели, как на коротких расстояниях без посторонней помощи гравитация может накапливать обломки в виде осыпей, и как при содействии талой воды, которая впиталась в материал, он может совершать медленную миграцию под действием особого типа почвенного потока. Тем не менее, действуют гораздо более мощные транспортные средства, и из них первостепенное значение имеет водопровод. Только в сердцевинах великих пустынь или в столь же отдаленных белых пустынях полярных регионов звук его журчания никогда не бывает услышан. В любой другой части земной поверхности в какой-то момент есть своя проточная вода, текущая в долинах, которые она сама прорезала в поверхности. Именно это очертание континентов в виде сложного узора пересекающихся долин составляет главное различие между поверхностью суши и относительно ровным дном океанов.

Движущая сила рек.— Каждая река рождается в муках Матери-Земли, благодаря которым земля поднимается и остается на более высоком уровне, чем это было раньше. Именно разница высот, возникающая таким образом между разделенными участками суши, делает возможным, чтобы вода, попадающая на более высокие участки, под действием силы

тяжести опускалась на более низкие. Этот естественный “напор”, обусловленный перепадами высот, является движущей силой местных потоков, и на каждое увеличение высоты происходит немедленный отклик в виде возобновления энергии потоков. Возвышенность, с которой стекают реки, здесь называется возвышенностью.

Скорость потока будет зависеть не только от разницы в высоте между его истоком и устьем, но и от расстояния, которое их разделяет, поскольку от этого будет зависеть уклон. Уровень устья, являющийся самым низким, которого может достичь ручей, называется *базовым уровнем*, а течение определяется уклоном. Способность поднимать и транспортировать каменные обломки увеличивается с совершенно удивительной скоростью с каждым увеличением скорости течения, поскольку закон заключается в том, что вес самого тяжелого транспортируемого фрагмента изменяется в шестой степени от скорости течения. Таким образом, если один поток течет в два раза быстрее другого, он может переносить фрагменты, которые в шестьдесят четыре раза тяжелее.

Старая земля и новая земля.—Поднятия континентов могут происходить без изменений положения береговых линий, и в этом случае участки, уже изрезанные ручьями, но больше не подвергающиеся их активному изменению, обрабатываются свежоотточенными инструментами с большей мощностью. Земля, подвергнутая таким образом активному вырубанию ручьем, описывается как старая земля, и на ней уже был выгравирован характерный рисунок речных гравюр, хотя рисунок был частично стерт.

Если, с другой стороны, береговая линия смещается в сторону моря вместе с подъемом, часть относительно ровного морского дна или новой суши поднимается и укладывается под действием текущей воды. Как мы увидим, пересечение ручья в некоторой степени изменяется, когда структура реки наследуется от поднятия. Подъем, будь то только старой земли или и старой земли, и новой земли, отмечает отправную точку новой истории реки, обычно описываемой как *цикл эрозии*.

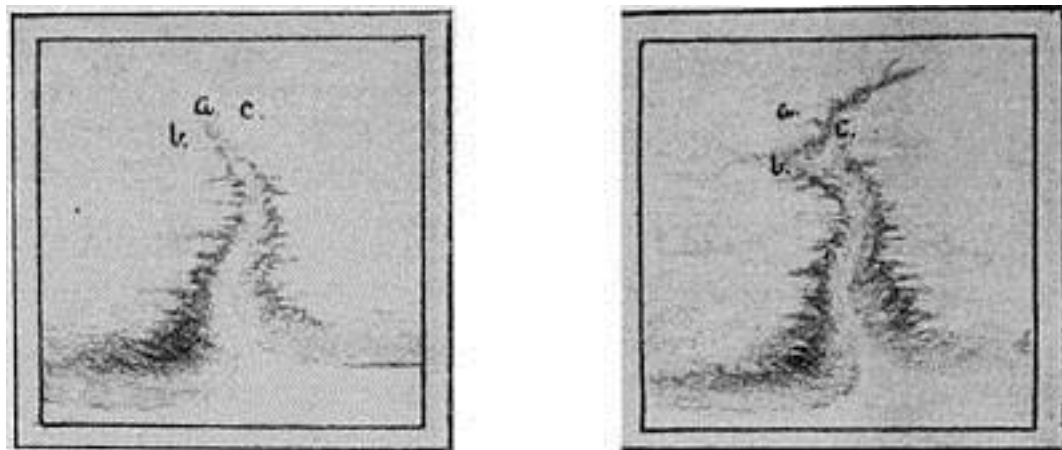


Рис. 165. Две последовательные формы оврагов на самой ранней стадии развития реки (после Солсбери и Этвуда).

Более ранние аспекты рек.—Хотя геологи иногда рассматривали поднятие континентов как своего рода изгибание непрерывной изогнутой поверхности, обсуждения истории рек и иллюстрирующие их иллюстрации в равной степени ясно предполагали, что поднятие происходило в основном блоками и что возвышенная область встречается с низменностью или морем более или менее определенным уступом. Первые реки, образовавшиеся после подъема, можно описать как овраги, образовавшиеся в результате внезапного спуска ливневых вод и расположенные более или менее равномерно вдоль края откоса (рис. 165).

Эти овраги относительно короткие, прямые и крутые; у них отвесные стены и мало притоков, если они вообще есть.

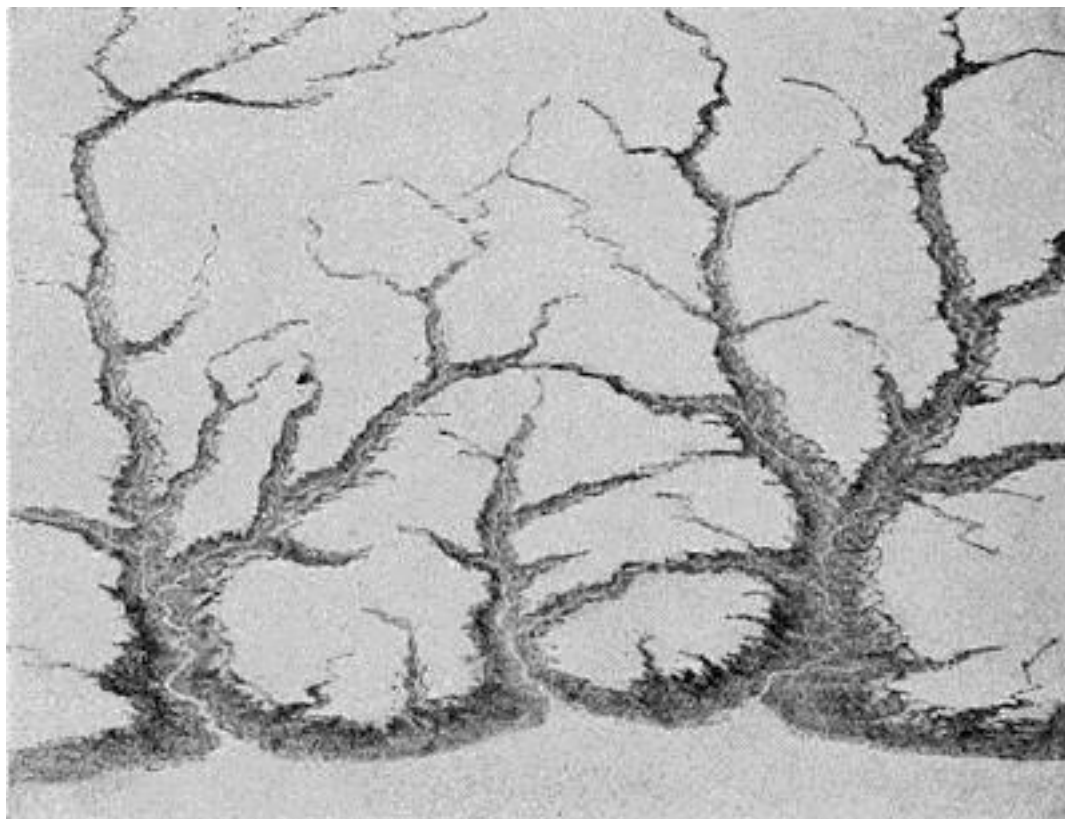


Рис. 166. Частично расчлененная возвышенность (после Солсбери и Этвуда).

Со временем вершины оврагов продвигаются вглубь возвышенности, принимая притоки; и так, в конце концов, они частично окружают ее и расчленяют на многочисленные столы с неправильными границами и плоскими поверхностями, разделенные каньонами (рис. 166). В то же время уклон канала становится более пологим, а его отвесные стены заменяются изогнутыми склонами, о чем будет более подробно рассказано в дальнейшем. Именно из-за этого постепенного снижения уровня воды с увеличением возраста ранние этапы жизни реки являются самыми бурными за всю ее историю. Затем вода устремляется вниз по крутым склонам в виде порогов и часто время от времени вскрывается в каком-нибудь бассейне, образуя озеро, где перепады высот были характерны для соседних участков. По нескольким причинам такие впадины в русле реки относительно недолговечны (глава XXX) и исчезают на более ранних этапах истории реки.

Ячейки речной сети.— Из-за продолжающегося выброса ручьями новых притоков, ячейки речной сети сближаются все теснее по мере продвижения этапов ее истории. Плотность текстуры, которая в конечном итоге формируется на возвышенности, частично определяется количеством осадков, так что в Нью-Джерси с обильными годовыми осадками ячейки в сети намного меньше, чем, например, на полусухих равнинах запада Соединенных Штатов. Однако его дизайн в любом случае более или менее четко выражает план каменной архитектуры, скрытый под поверхностью (Глава XVII).

Верхнее и нижнее течение реки контрастировали.—Из-за того факта, что река постепенно вторгается в новые участки возвышенности и подвергает приобретенные участки все более тщательному освоению, вблизи ее истоков в течение длительного времени существует

пограничный район, который можно рассматривать как молодой, даже несмотря на то, что участки вблизи ее устья достигли несколько продвинутой стадии. Таким образом, недавно приобретенные участки речной долины могут обладать крутым уклоном и обрывистыми стенами, которые характерны для ранних оврагов и каньонов и контрастируют с участками с более округлым и плоским дном ниже. Боковые ручьи, из-за того, что они новее, чем главный или магистральный поток, в который они впадают, также спускаются по несколько более крутым склонам (рис. 167).



Рис. 167. Характерные продольные разрезы верхней части долины реки и ее притоков (после масштабирования разрезов Нуссбаумом).

Баланс между деградацией и приумножением.— Мы видели, что мощность для транспортировки обломков породы увеличивается с удивительной скоростью с каждым увеличением скорости течения. В то время как более легкие частицы породы могут подниматься так высоко, как поверхность воды, более тяжелые перемещаются вперед по дну за счет комбинированного перекачивания и подпрыгивания, чему способствуют локальные водовороты. Те частицы, которые соприкасаются со дном или стенками канала, истирают его поверхность, постоянно углубляя и расширяя долину. Этот разрез, выполняемый частично взвешенными обломками в быстро движущихся потоках воды, известен как *загнивание*, и говорят, что ручей *прорезает* свою долину.

По мере того, как течение проверяется на более низких и ровных участках, часть наносов, и особенно более крупная часть, будет осаждаться и, таким образом, частично заполнять канал. Таким образом, устанавливается хороший баланс между *деградацией* и противоположным процессом, известным как *усиление*. Чем старше долина реки, тем более пологими становятся уклоны на любом участке ее течения, и, таким образом, точка, отделяющая нижнюю зону повышения от верхней зоны деградации, с течением времени неуклонно перемещается вверх по течению.

Соответствие долин притоков.— Следствием большой чувствительности русла к скорости течения является то, что ни один боковой поток не может входить в магистральную долину на уровне выше уровня основного потока — притоки впадают в магистральный поток *соответственно*. Каждый из них прорезал свою собственную долину, и любое резкое увеличение уклона боковых потоков вблизи того места, где они впадают в основной поток, ускорило бы местное загнивание и, таким образом, сократило бы русло до уровня магистрального потока.

Градуировка поймы.— Все реки подвержены сезонным колебаниям объема своих вод. Там, где есть влажный и сухой сезоны, эти различия наибольшие, и большую часть года долины в таких регионах могут быть безводными, и фактически они часто используются для проведения транспортных магистралей. В умеренном климате средних широт реки обычно разливаются весной, когда тают зимние снега, хотя в конце лета они могут сократиться до сравнительно небольших ручьев. В верховьях реки скорость течения такова, что обычное русло реки может нести всю воду во время паводка; но ниже и в зоне усиления течения, где течение было остановлено, уровень воды при паводке поднимается выше берегов ее обычного русла и распространяется по окружающей низменности. Поскольку отложения наносов распространяются по поверхности, последовательность ежегодных отложений из

этого источника повышает общий уровень в виде широкого дна, описываемого как *пойма* реки.

Циклы извилистости ручья.— Ежегодное затопление водой и одновременное отложение ила, однако, не является единственным процессом классификации, который действует на пойме. Для быстрых течений характерно то, что их течение поддерживается относительно прямыми линиями из-за инерции быстро движущейся воды. По мере того, как их течение становится вялым, реки отклоняются в сторону из-за малейших препятствий; и как только они отклоняются от своего прямого русла, вступает в силу закон природы, который увеличивает кривизну потока с ускоренной скоростью до критической точки, когда в результате изменения, внезапного и катастрофического, выбирается новое и прямое русло, которое, в свою очередь, проходит через аналогичный цикл изменений. Это так называемое *извилистость* ручья сопровождается переносом наносов из одного изгиба или меандра реки в те, что ниже, и с одного берега на другой. Поскольку более поздние меандры пересекают более ранние и со временем занимают все участки равнины в одинаковой средней степени, выполняется процесс грубой градуировки, к которому добавляются ежегодные осадки от разлива.

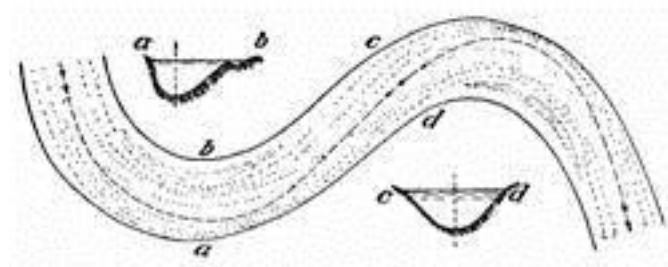


Рис. 168.—Карта и участки меандра ручья. Курс основного течения обозначен пунктирной линией.

Направление течения в последовательных меандрах и поперечные сечения русла, возникающие непосредственно в результате процесса меандрирования, станут ясны при рассмотрении [рис. 168](#). Как только течение отклоняется от своего прямого русла, оно, благодаря своей инерции движения, ударяется о внешнюю или выпуклую сторону, чтобы размыть или загнать этот берег. Как следствие, на вогнутой или внутренней стороне изгиба образуется зона стоячей воды, и здесь откладывается ил, вымытый с более высоких извилин. Таким образом, размывание течения на внешнем берегу и наполнение на внутреннем придают поперечному сечению потока в целом несимметричный характер ([рис. 168 ab](#)). Между меандрами вблизи точки перегиба кривой, и только там, ток сосредоточен в середине канала, а поперечное сечение симметрично ([рис. 168 cd](#)).



Рис. 169. Частично подорванное дерево на внешнем берегу меандра.

Размыв на выпуклой стороне меандра заставляет реку еще больше отклоняться в этом направлении и, вторгаясь в заиленную пойму, мигрировать через нее. Деревья, попадающиеся на его пути, подтачиваются и падают в ручей вершушками, направленными по течению (рис. 169). Всякий раз, когда пойма покрыта лесом, поваленных деревьев может быть так много, что они рядами лежат вдоль берега, и во время следующего наводнения их относит вниз по течению, чтобы они застряли в узких местах вдоль русла и создать ошибочное впечатление, что наводнение само вырвало с корнем участок леса (см. стр. 418).

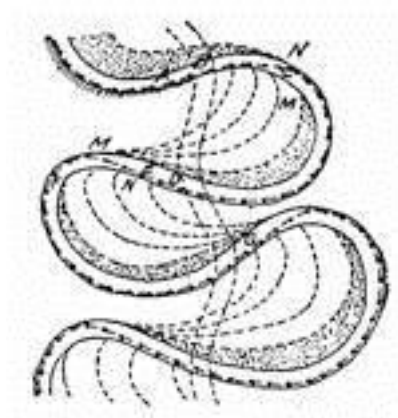


Рис. 170. Диаграммы, показывающие последовательные положения извилин потока и относительно неподвижную точку вблизи наиболее резкого изгиба.

Окончание меандра.— По мере того, как меандр поворачивается к своему крайнему положению, он становится все более и более закольцованным. Соседние петли, таким образом, сближаются все ближе и ближе друг к другу, но в последовательных положениях устанавливается почти неподвижная точка вблизи того места, где река делает свой самый крутой поворот (рис. 170, G, и рис. 454, стр. 417). Наконец, перешеек, разделяющий меандры, становится настолько узким, что в следующий прилив временная завалка бревен в русле может направить воду через перешеек, и после того, как русло двинулось в новом направлении, канал прочищается в мягком иле. Таким образом, прорывая берег ручья, так называемую “расселину”, река внезапно выпрямляет свое русло, хотя до этого времени оно

неуклонно становилось все более и более извилистым. После того, как произошло перекрытие, старое русло может какое-то время продолжать использоваться потоком совместно с новым, но преимущество в скорости течения связано с перекрытием, старое русло содержит более слабую воду и поэтому начинает заполняться илом как в начале, так и в конце петли. В конце концов, заделанная с обоих концов, эта петля, или “бычий лук”, полностью отделяется от нового русла, и после выхода из ручья превращается в озеро с бычьим луком (рис. 171 и стр. 415).

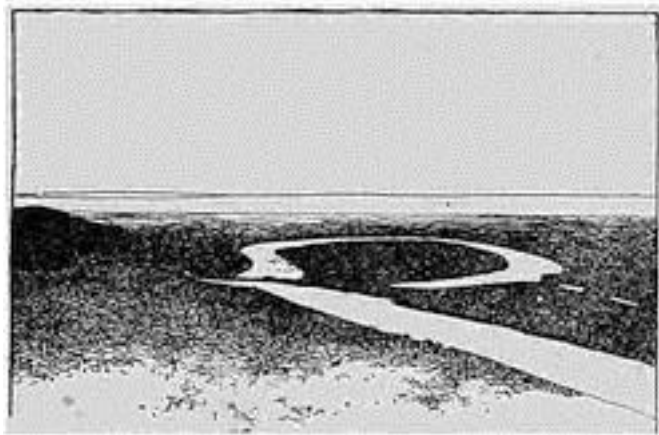


Рис. 171. Озеро окс—боу в пойме реки.

Извилистые шрамы. Время от времени петля по пойме и прижимаясь к берегу ранее разрушавшейся реки на этом участке, меандр время от времени пересекает высокий берег, ограничивающий пойму, и, подрывая его таким же образом, выкапывает углубление амфитеатрической формы, известное как *шрам* (Fig. 172,,). В конце концов, весь берег изрезан таким образом, что в потоке образуется ряд вогнутых гребешков, разделенных острыми промежуточными выступами остроконечной формы.

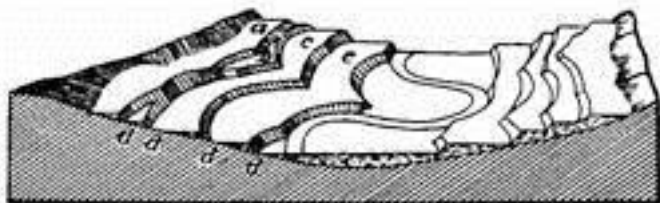


Рис. 172.—Схематическое изображение серии речных террас. А, Б, С, Е, последовательных террас в порядке возраст. Д, Д, Д, Д, терраса склонах образуется Меандр шрамы.

Речные террасы.—Всякий раз, когда история реки прерывается небольшим подъемом или уровень основания по какой-либо причине понижается, ручей сразу же начинает погружать свое русло в пойму. Снова протекая по низкому склону, она снова извивается и таким образом образует новые стены на более низком уровне, но сформированные, как и первая, из пересекающихся меандровых рубцов. Таким образом, образуется новая пойма со скалами и террасой над ними, которая известна как *речная терраса*. Последовательность поднятий или впадин базового уровня приводит к образованию террас последовательно, как они схематически представлены на рис. 172. Такие террасы хорошо развиты на большинстве наших крупных рек к северу от Огайо и Миссури. Самая высокая терраса, очевидно, является остатком самой ранней поймы, в то время как самая низкая представляет собой самую позднюю.

Дельта реки.—По мере приближения к своему устью река движется все более и более вяло по ровным склонам и по мере течения делает более широкие извивы. Тем не менее, она все еще несет некоторое количество ила, который откладывается только после того, как ее течение прекращается при встрече со стоячей водой, в которую она впадает. Если это океан, то соленость морской воды в значительной степени способствует быстрому выпадению в осадок тончайшего материала. Этот осветляющий эффект растворенной соли на воду можно наглядно проиллюстрировать, взяв две одинаковые банки, одну наполненную пресной, а другую соленой водой, и размешав в каждой одинаковое количество мелкой глины. Глина в соленой воде осаждается, и вода очищается задолго до того, как исчезнет мутность другой.

Откладывая остатки своих наносов там, где она впадает в море, река образует обширные равнины из ила и глины, которые известны как дельты и которые часто образуют большие локальные расширения континентов в море. В то время как в верхнем течении река со своими притоками выглядит на плане как дерево и его ветви, в районе дельты ручей, разделяясь на расходящиеся каналы, называемые распределителями ([рис. 458, стр. 420](#)), дополняет сходство с деревом, добавляя корни. Из-за расхождения распределений на дельтовой равнине была предложена греческая заглавная буква Δ , которая дала название этим месторождениям. Обладая огромным плодородием, дельтовые равнины рек стали густонаселенными регионами земного шара, среди которых необходимо упомянуть только дельту Нила в Египте, дельты Ганга и Брахмапутры в Индии и дельты рек Хоанг и Янцзы в Китае.

Дамба.—Когда на горах в верховьях крупных рек тает снег, возникают паводки, и районы дельт затопляются. В такие периоды на поверхности дельтовой равнины остается небольшой слой плодородной почвы, от которой особенно зависит ежегодное обогащение возделываемых полей. Хотя в это время вода широко распространилась по равнине, течение все еще продолжает течь в основном в пределах обычного русла, так что слабая вода по обе стороны становится местом основного отложения наносов. Таким образом, по обе стороны канала образуется гряда ила, известная как *дамба*, и высота этого берега из года в год неуклонно увеличивается ([рис. 452](#)).

Чтобы предотвратить опасность наводнений на обитаемых равнинах, искусственные дамбы обычно возводятся поверх естественных, и в такой стране, как Голландия, такие дамбы (плотины) требуют больших затрат денег и немалых инженерных навыков и опыта для строительства. Надлежащее управление плотинами настолько важно для жизни нации, что в прошлой истории Китая каждая слабая администрация отмечалась развитием взяточничества в этом важном ведомстве и наводнениями, уносившими жизни сотен тысяч людей.



Рис. 173. Дельта реки Миссисипи “Птичья лапка”.

Везде, где в районе дельты происходило заметно быстрое опускание, а депрессии на территории дельты обычны, без сомнения, в результате нагружения земной коры, река может представлять парадоксальное состояние течения на более высоком уровне, чем окружающая местность. Между дамбами соседних притоков имеются своеобразные блюдцеобразные впадины страны, которые легко заполняются водой. На оконечности дельты дамба может быть единственной сушей, выступающей над поверхностью океана, и поэтому имеет своеобразные очертания “птичьей лапки”, характерные для оконечности дельты Миссисипи, хотя этому результату могут способствовать и другие процессы, помимо простого опускания отложений (рис. 173).

Разрезы дельтовых отложений.— Если теперь мы оставим план дельты, чтобы рассмотреть разрез ее отложений, мы обнаружим, что они настолько характерны, что их легко распознать. Рассматриваемая в широком смысле, дельта продвигается в сторону моря подобно железнодорожной насыпи, которую перекидывают через озеро. Хотя большая часть осадка выгружается на крутой склон впереди, меньшее количество материала сбрасывается по пути, и слой чрезвычайно мелкого материала оседает заранее по мере того, как вода очищается от мелкодисперсных частиц (рис. 174). Одновременные отложения в пределах дельты, таким образом, включают почти горизонтальный слой более грубых материалов, так называемый верхний отложенный слой; основную часть отложений в переднем наклонном слое, так называемый передний отложенный слой; и тонкую пленку глины, которая простирается далеко вперед, нижний отложенный слой (рис. 174, 2). Если в какой-либо точке через отложения сделать вертикальный разрез, то обнаружатся слои, отложившиеся в разные периоды; самые старые находятся внизу в горизонтальном положении, следующие более молодые над ними и с наклоном вперед, а самые молодые и грубые наверху находятся почти в горизонтальном положении (рис. 174, 3).

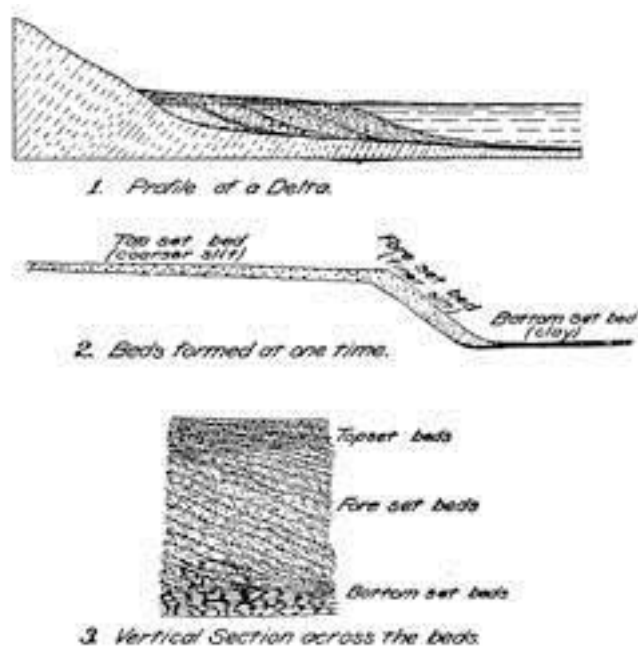


Рис. 174.—Диаграммы, показывающие природу отложений дельты, представленные в разделе.

Было подсчитано, что поверхность Соединенных Штатов в настоящее время сокращается в результате эрозии в среднем на дюйм за 760 лет. Полученный материал откладывается в поймах и дельтах его основных рек. Ежегодно в Соединенных Штатах в приливно-отливные воды уносится около 513 миллионов тонн взвешенных веществ, и в море выбрасывается примерно вдвое меньше растворенных веществ. Если бы этот материал был удален из выемки Панамского канала, примерно за 73 дня был бы вырыт 85-футовый канал на уровне моря. Одна только река Миссисипи ежегодно уносит в море 340 миллионов тонн взвешенных веществ, или две трети всего объема, удаляемого с территории Соединенных Штатов в целом. Поэтому неудивительно, что большие дельты так быстро расширили свои границы и что земная кора так часто проседает под нагрузкой.

ГЛАВА XIII

ОСОБЕННОСТИ ЗЕМЛИ, СФОРМИРОВАННЫЕ ПРОТОЧНОЙ ВОДОЙ

Недавно изрезанная возвышенность и ее острые выступы. Последовательные этапы вырезания, лепки и, наконец, уменьшения возвышенности участка земли, каждый из которых обладает отличительными чертами, которые все можно прочесть либо на карте, либо в линиях ландшафта. На недавно поднятой равнине изрезы молодых рек можно найти главным образом по соседству с окраинами. На этом этапе долины описываются как каньоны V-образной формы, поскольку стена долины встречается с поверхностью возвышенности резкими выступами ([фото 12 А](#)), а линии ландшафта повсюду состоят из прямых элементов. Хотя ландшафты этой стадии представляют собой самые грандиозные пейзажи из известных и могут быть вырезаны в огромных пропорциях, часто с бурной рекой или тихим озером, чтобы усилить эффект скал и ущелий, им не хватает мягкости и изящества

очертаний, которые присущи только более зрелым стадиям эрозии. Гранд-каньон в Колорадо представляет черты, характерные для этого этапа, в самом грандиозном и возвышенном из всех примеров, а замковый Рейн - это ущелье суровой красоты, вырезанное в недавно возвышенном плато западной Пруссии, через которое вода течет стремительными водоворотами (рис. 175).

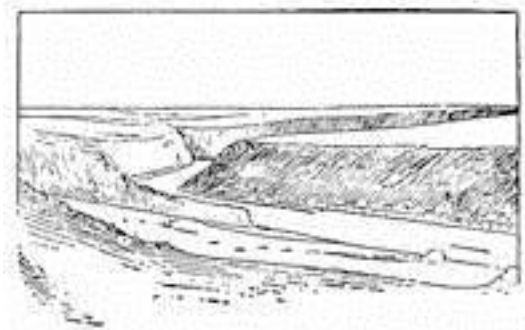


Рис. 175. Ущелье реки Рейн близ Сен—Гоара, врезанное в приподнятую равнину, образующую вершины холмов.

Стадия подросткового возраста.—По мере того, как возвышенность становится все более заселенной в результате продвижения каньонов вперед и вытеснения ими боковых притоков, острые углы, под которыми стены каньонов пересекают равнину, постепенно заменяются хорошо закругленными уступами. Таким образом, линии ландшафта этого этапа представляют собой комбинацию прямой линии с простой кривой, выпуклой к небу (рис. 176). На этой стадии сохраняются большие участки первоначального плато, хотя и разрезанные на небольшие участки расширением долин притоков.



Рис. 176. V-образная долина с хорошо закругленными уступами, характерная для стадии подросткового возраста. Плато Аллегейни в Западной Вирджинии.

Зрелое расчлененное нагорье.— Продолжающиеся разветвления рек в конечном итоге разделяют всю возвышенность на отдельные части, и округление плеч долин происходит одновременно до тех пор, пока на исходной возвышенности не останется легко узнаваемых участков. Там, где раньше были плоские вершины холмов, теперь образовались хребты или водоразделы, хорошо известные *водоразделы*. В настоящее время говорят, что возвышенность полностью расчленена или достигла *зрелости*. Ручьи все еще полны энергии, поскольку они полностью спускаются с возвышенности к основанию, и все же критический поворотный момент в их истории был достигнут, и с этого момента они должны демонстрировать неуклонное снижение эффективности в качестве скульптурных агентов.



Рис. 177. Вид зрелого расчлененного нагорья с вершины одного из его холмов, Клатмат—Маунтинс, Калифорния (по фотографии Фэрбенкса).

При взгляде с вершины одного из холмов ландшафт этого этапа заметно напоминает море, в котором бесчисленные водоразделы представляют собой гребни волн, и они, по мере того как расстояние уменьшает их значимость в пейзаже, исчезают за ровной линией горизонта (рис. 177).

Линия красоты Хогарта.— Со времен юности нагорья, когда линии его ландшафта были прямыми, характер суровым, а реки дикими и бурными, здесь произошла полная трансформация. Единственная прямая линия, которую можно увидеть, - это далекий горизонт, поскольку пейзаж теперь приобретает смягченные очертания, среди которых часто встречается линия красоты, прославленная Хогартом в его “Анализе красоты”. Как хорошо известно всем изучающим искусство, это извилистая линия обратной или двойной кривизны — кривая, которая незаметно переходит в точке перегиба из выпуклой формы в вогнутую (рис. 178). Изгиб красоты теперь можно найти на каждом участке холмов, и это придает ландшафту грациозность и определенную степень покоя, чего нельзя было найти в ландшафтах более ранних стадий цикла эрозии. На дне долин также начальные изгибы рек в пределах их узких пойм придают серебристую красоту линиям, которые заметно выделяются на более мрачном фоне холмов.

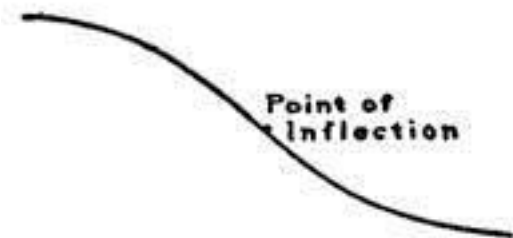


Рис. 178. Линия красоты Хогарта.

Рассматриваемая с коммерческой точки зрения, зрелая возвышенность является одной из наименее приспособленных в качестве жилья для высокоцивилизованного человека.

Прямые линии связи монотонно чередуются на холмах и в долинах, и почти единственный способ провести железную дорогу через регион без затрат на эстакады, которые были бы непомерно высокими, - это следовать по извилистому гребню главного водораздела или по столь же извилистому руслу одной из более крупных долин.



Рис. 179. Вид старой земли Новой Англии с возвышающейся вдали горой Монаднок.

Конечный продукт речной скульптуры — пенеплен.— Когда река достигает зрелости в истории, ее энергия направляется на расчистку склонов долины и гребней, чтобы снизить общий уровень. С этого времени вершины холмов больше не имеют общего уровня — уровня первоначального нагорья, — поскольку некоторые возвышаются заметно выше других, и с возрастом такие различия усиливаются. В настоящее время также наблюдается большее углубление долин, образующее ровные этажи пойм, из которых в конце концов теперь небольшие возвышенности поднимаются на такие пологие склоны, что процесс формирования рельефа подходит к своему завершению. Постепенно сила потока иссякла и теперь может возобновиться только за счет нового поднятия почвы или, что было бы то же самое, понижения уровня основания. Возвышенность и река состарились вместе, и приближение к новой равнине, но немного приподнятой над уровнем основания, настолько заметно, что к ней применяется название *пенеплен*. Отдельные возвышенности, которые из-за некоторых благоприятных обстоятельств поднимаются на большую высоту над общим уровнем пенеплена, известны как *монаднок* по типовому примеру горы Монаднок в Нью-Гэмпшире (рис. 179).

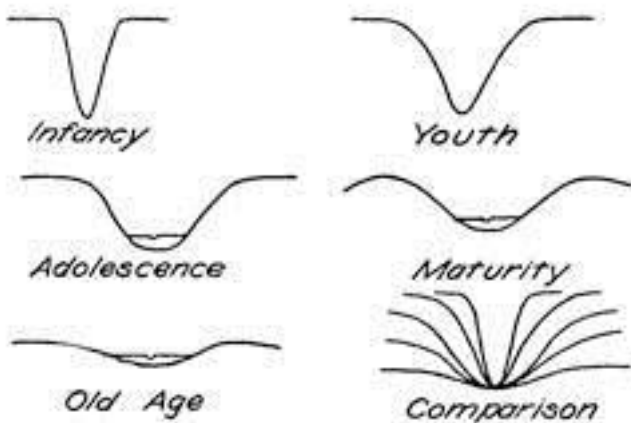


Рис. 180.— Сравнение поперечных сечений речных долин для разных стадий цикла эрозии.

Река пересекает участки последовательных этапов.— Для последовательных этапов жизни реки было обычным делом переносить названия из хорошо заметных периодов человеческой жизни. Если на мгновение пренебречь общим видом возвышенности, мы сосредоточим наше внимание на характерных поперечных сечениях речной долины, то обнаружим, что и здесь имеются четко обозначенные признаки, различающие каждый этап жизни реки (рис. 180). В младенчестве характерен крутой, узкий и остроугольный каньон; с возрастом уже развивается более широкая V-образная форма; в подростковом возрасте углы каньона трансформируются в хорошо закругленные плечи, и долина расширяется так, что в низовьях образуется пойма; в зрелости появляются водоразделы и двойные изгибы линии

красоты; в то время как на склоне лет долины становятся чрезвычайно широкими и плоскими и покрываются протяженной поймой.

Укоренение меандров с возобновлением подъема.— При пониженных уклонах, характерных для стадии спада в жизни реки, течение обладает небольшой способностью изменять конфигурацию поверхности. На старой земле этой стадии возобновленный подъем снова запускает потоки в действие. Это вливание движущей силы в движущуюся воду, рассматриваемое как машина, способная выполнять определенную работу, подобно заводу часов, которые остановились. Потоки снова набирают скорость, достаточную для того, чтобы позволить им прорезать свои долины в поверхности суши, и таким образом на старой поверхности суши — пенеппене — может начаться новый эрозионный цикл. После того, как такое поднятие было завершено и реки проложили свои ранние долины в пределах нового нагорья, мы можем смотреть с этой теперь приподнятой поверхности, и глаз видит только одну горизонтальную линию, поскольку мы рассматриваем равнину вдоль ее края.

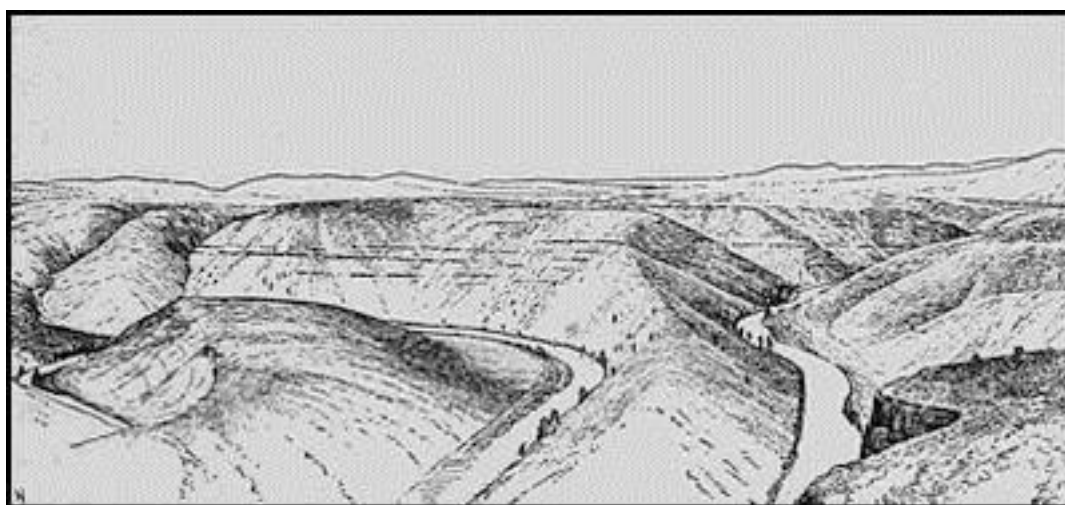


Рис. 181. Изгиб реки Якима Каньон в центре Вашингтона (в честь Джорджа Отиса Смита).

В результате подъема извилины более ранних рек могут закрепиться на новом возвышении, широкие участки отдельных извилин теперь разделены горами там, где раньше были только равнины, покрытые илом. Нью-Ривер на плато Камберленд и река Якима в центральном Вашингтоне (рис. 181) представляют собой превосходные американские примеры изрезанных траншеями меандров, как и река Мозель в Европе. В русле последней реки недалеко от города Целль железнодорожный туннель длиной в четверть мили пробивает гору в горловине меандрового выступа, по которому сама река проходит расстояние более шести миль, чтобы проделать такой же путь. Туннель Кайзера Вильгельма в том же районе проходит через большую гору, включенную в двойной изгиб реки. Несмотря на наличие глубоких траншей, речные меандры все еще способны прочесывать и таким образом подрывать внешний берег, и при благоприятных условиях они могут с помощью этого процесса размыть протяженные “днища” плато. (См. Локпортский четырехугольник, США)

Долина обновленной реки.— Всякий раз, когда происходит новое поднятие до завершения эрозионного цикла, реки становятся глубокими, но не в пенеппене, а на дне широких долин. Стремительные изгибы, характеризующие зрелые ландшафты, таким образом, могут резко контрастировать с прямыми линиями молодых каньонов, которые с V-образными разрезами спускаются со своих самых низких уровней (рис. 182). Полное поперечное сечение такой долины показывает центральную букву V, острые выступы которой вытянуты наружу и вверх в виде смягченных изгибов более поздних стадий эрозии.

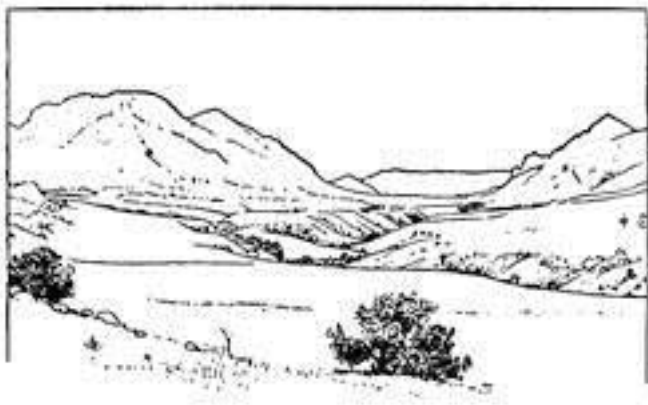


Рис. 182. — Обновленная речная долина (по фотографии Фэрбенкса).

Остановка эрозии ручья более устойчивыми породами. Способность реки размывать и уносить скальный материал, лежащий вдоль ее русла, зависит не только от скорости течения, но и от твердости, однородности текстуры и растворимости материала. Особенно в засушливых и полувзасушливых регионах, где под рукой нет растительного покрова, маскирующего поверхности более твердых скальных массивов, различия такого рода накладывают глубокий отпечаток на ландшафт. Скальные террасы в Гранд-Каньоне штата Колорадо в совокупности представляют собой более мощные скальные образования региона, в то время как наклонные скопления осыпи скрывают более слабые пласты от посторонних глаз.

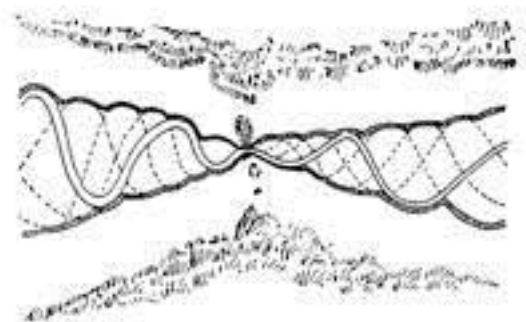


Рис. 183.—План сужения реки.

Каждый участок более твердой породы, возвышающийся поперек течения ручья, вызывает временную остановку процесса эрозии долины и является причиной заметного локального сужения речной долины. Долина изрезана менее широко, а также менее глубоко, и поскольку река никогда не может протекать ниже ее основания, "временный базовый уровень" на время устанавливается над участком более твердой породы. Из-за сужения долины в этих условиях местность описывается как *сужающаяся река* (рис. 183). Сужение реки Гудзон происходит в Высокогорье, где река покидает широкое пространство, занятое более мягкими отложениями, и пересекает похожую на остров область твердых кристаллических пород. В пределах сужений реки крутые стены, характерные для молодости, а также для бурного течения, часто сохраняются еще долгое время после того, как другие участки реки приобрели более спокойные очертания, свидетельствующие о зрелости реки. Живописная скала и в целом изрезанный характер ривер-нэрроуз делают их объектами особого интереса на любой судоходной реке.

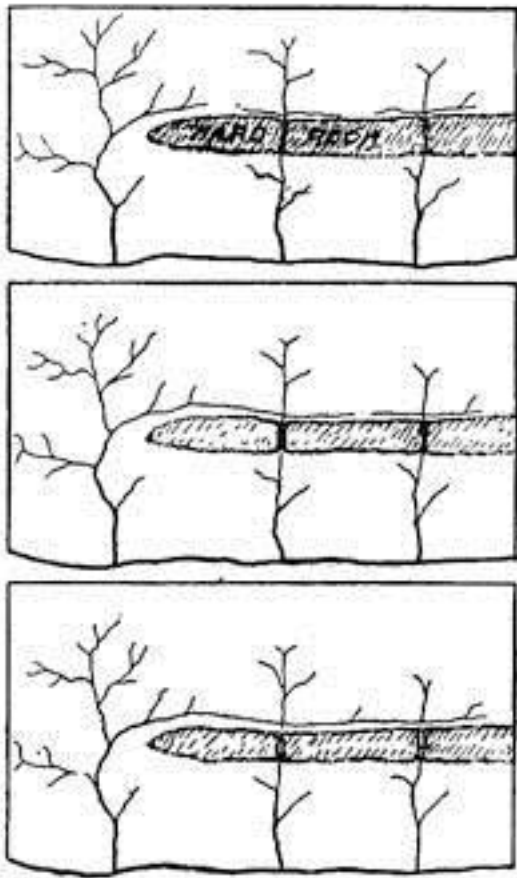


Рис. 184.—Последовательные диаграммы, иллюстрирующие повторяющееся речное пиратство и развитие “решетчатого дренажа” (по Расселу).

Захват территории одной реки другой.—Таким образом, эффект твердого слоя породы, находящегося в русле ручья, всегда заключается в задержке продвижения процесса эрозии на всех уровнях выше препятствия. Когда ручей, прорезающий свою долину, разрушает свое русло через слой более мягких пород до более твердых материалов ниже, технически описывается, что он *обнаружил* более твердый слой. Там, где несколько соседних ручьев текут по сходным маршрутам к своему общему основанию, те, которые обнаружат более твердую породу, будут продвигать свои верховья в возвышенность менее быстро и, таким образом, окажутся в невыгодном положении при расширении своей дренажной территории. Поток, которому не препятствуют таким образом, со временем отнимет у других часть их территории, поскольку он способен размывать свои низовья ближе к основному уровню и, таким образом, приобретать для своих верховьев, где эрозия происходит в основном, преимущество в уклоне. Водораздел, отделяющий его верховья от вод его менее благоприятствуемого соседа, в результате будет неуклонно мигрировать на территорию соседа. Таким образом, водораздел является своего рода пограничной стеной, разделяющей водосборные бассейны соседних ручьев, и любая миграция должна расширять территорию одного из них за счет другого. По мере того как все больше и больше территории попадает под власть более благоприятствуемого потока, наступит время, когда водораздел в его миграции достигнет русла разграбляемого потока и, таким образом, внезапным актом аннексии вытянет все верхние воды в свой собственный бассейн. Говорят, что в результате этого *захвата* ручей, территория которого была захвачена, был *обезглавлен*. Благодаря этому акту *пиратства* более сильный поток теперь развивает исключительную активность из-за местных крутых подъемов вблизи точки захвата, и с этой недавно приобретенной режущей способностью захватчик способен продвинуться еще

дальше и проникнуть на территорию потока, который находится дальше. Тип дренажной сети, возникающий в результате повторных захватов такого рода, известен как “решетчатый дренаж” (рис. 184), тип, хорошо иллюстрируемый реками южных Аппалачей.

В общем, можно сказать, что при прочих равных условиях из двух соседних ручьев, имеющих общий уровень основания, тот, который проходит самый длинный маршрут, уступит территорию другому, поскольку он должен иметь более пологий средний уклон. Таким образом, захват потока может происходить без обнаружения слоев твердых пород, которые более неблагоприятны для одного потока, чем для другого.

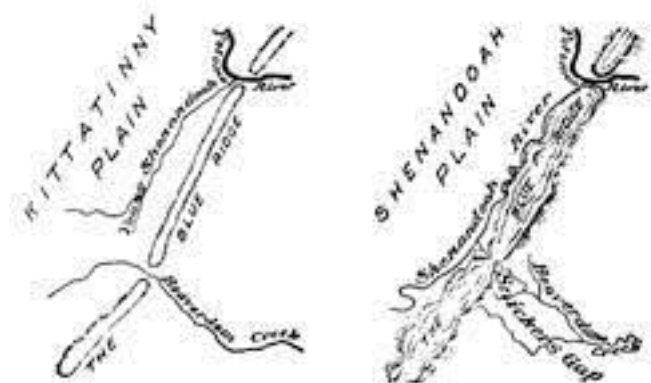


Рис. 185. — Эскизные карты, показывающие более раннее и нынешнее состояние дренажа в районе Блу-Ридж близ Харперс-Ферри.

Разрывы от воды и ветра.—На пересечении рек плато Аллегейни гряды более твердых пород в глубоких горных ущельях сужаются, которые на горизонте кажутся проходами через барьер горной стены. Такие шлюзы иногда называют “водными промежутками”, из которых Делаверский водный промежуток, пожалуй, самый известный пример, хотя Потомак пересекает Голубой хребет у исторического Харперс-Ферри через аналогичный портал. Долина притока Шенандоа была ареной интересного эпизода в борьбе соперничающих потоков, который типичен для других в том же нагорном регионе. Записи, которые можно сделать на основе ландшафтов, ясно показывают, что в более ранний, но недавний период, когда общая поверхность находилась на более высоком уровне, который был назван равниной Киттатинни, более молодой Потомак того времени и более молодой, но более крупный предок Бивердам-Крик пересекли Блу-Ридж того времени через аналогичные водоемы (рис. 185, карта, и рис. 186). Однако в то время Потомак был более глубоко изрыт траншеями, и, обладая преимуществом в уклоне, он смог продвинуться по водоразделу в верховьях своего притока Шенандоа на территорию Бивердам-Крик. Таким образом, Шенандоа обезглавила Бивердам (рис. 185, вторая карта), и ее верхние воды были присоединены к системе Потомак. С последующим понижением общего уровня местности, на территории которой образовалась нынешняя равнина Шенандоа, бывший водораздел Бивердам-Крик был заброшен из своего русла на высоком уровне хребта. Известная как Сникерс-гэп, она может служить разновидностью “ветровых щелей” аналогичного происхождения, которые не так уж редки в горной системе Аппалачи (рис. 186).

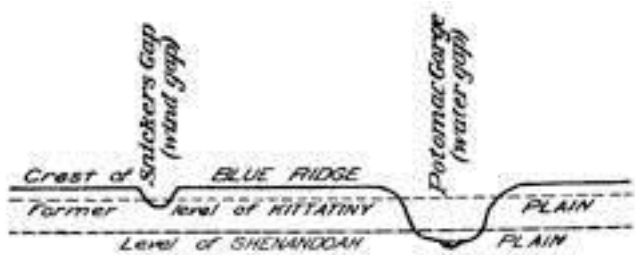


Рис. 186. Раздел, иллюстрирующий историю Snickers Gap.

Профили характеристик.—Для влажных регионов ландшафты обладают характеристиками, которые, говоря в широком смысле, зависят от стадии цикла эрозии. На самых ранних стадиях прямая линия становится почти единственным элементом дизайна; по мере продвижения цикла к подростковому возрасту округлые формы начинают заменять углы незрелых стадий, и с полной зрелостью характерны только линии красоты. По мере прохождения этой критической стадии обнаруживается, что неровности рельефа и все более сглаженные изгибы соответствуют снижению жизненной энергии реки. Таким образом, в работе риверса есть признаки старости (рис. 187).

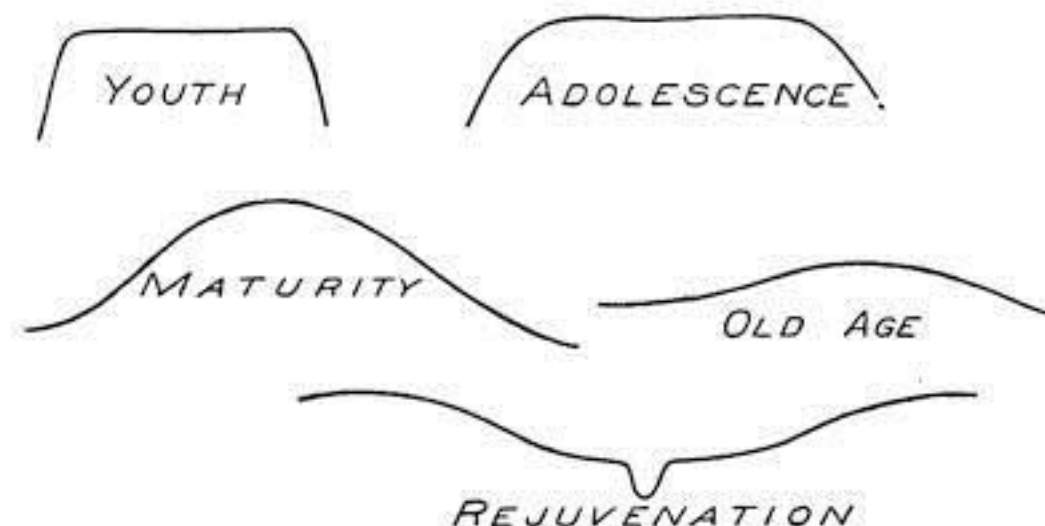


Рис. 187. Профили характера ландшафтов, сформированных речной эрозией во влажном климате.

Список литературы для чтения к главам XII и XIII

Общиесведения:—

Сэр Джон Плейфейр. Иллюстрации хаттоновской теории Земли. Эдинбург, 1802, стр. 350-371.

Дж. У. Пауэлл. Исследование реки Колорадо на Западе и ее притоков. Вашингтон, 1875, стр. 149-214.

Г. К. Гилберт. Отчет о геологии гор Генри. Вашингтон, 1877, стр. 99-150. (Классика о работе риверса.)

К. Э. Даттон. Третичная история района Гран-Каньон (с атласом), Пн. 2, Геология США. Обзор, 1882, стр. 264.

У. М. Дэвис. Реки и долины Пенсильвании, нац. Геогр. Маг. том 1, 1889, стр. 203-219; Триасовая формация Коннектикута, 18-я энн. Респ. Геол. США. Обзор, Часть ii, 1898, стр. 144-153.

Сэр А. Гейки. Пейзажи Шотландии. Лондон, 1901, стр. 1-12.

И. К. Рассел. Реки Северной Америки. Патнэм. Нью-Йорк, 1898, стр. 327.

М. Р. Кэмпбелл. Модификации дренажа и их интерпретация, журнал. Геол., том 4, 1896, стр. 567-581, 657-678.

Генри Ганнетт. Физиографические типы, Геология США. Обзор, Топографический атлас, листы 1-2, 1896, 1900.

У. М. Дэвис. Географический цикл, Географ. Jour., vol. 14, 1899, pp. 481-504.

Пойма реки:—

Генри Ганнетт. Апрельское наводнение 1897 года в низовьях Миссисипи, Шотландия. Geogr. Mag., vol. 13, 1897, pp. 419-421.

У. М. Дэвис. Развитие речных меандров, Геол. маг., Четвертое десятилетие, том 10, 1903, стр. 145-148.

У. С. Тауэр. Развитие обрывистых меандров, Бык. Am. Geogr. Соч., т. 36, 1904, с. 589-599.

Речные террасы:—

У. М. Дэвис. Террасы реки Уэстфилд, Массачусетс, Журнал Am. Jour. Sci., том 14, 1902, стр. 77-94, стр. 4; Речные террасы в Новой Англии, Бюлл. Муз. Сост. Зоол., т. 38, 1902, с. 281-346.

Дельты рек:—

Г. К. Гилберт. Топографические особенности берегов озера, 5-я энн. Репт. Геол. США. Обзор., 1885, стр. 104-108; Озеро Бонневиль, понедельник. I, Геология США. Обзор., 1890, стр. 153-167.

Карты Комиссии по реке Миссисипи.

Г. Р. Креднер. Die Deltas, ihre Morphologie, geographische Verbreitung und Entstehungsbedingungen, Pet. Перчатка. Ergh. 56, 1878, стр. 1-74, pls. 1-3.

Пенеплен:—

У. М. Дэвис. Равнины морской и субариальной денудации, Бюлл. Геол. Соч., т. 7, 1896, с. 377-398; Пенеплен, М. Геол., т. 23, 1899, с. 207-239.

Углубление меандров:—

У. М. Дэвис. Сена, Маас и Мозель, нац. Geogr. Mag., vol. 7, 1896, pp. 189-202.

Захват потока:—

Н. Х. Дартон. Примеры ограбления ручья в горах Катскилл, Булл. Геол. соц. Ам., том 7, 1896, стр. 505-507, стр. 23.

Кольер Кобб. Возвращение речного пирата, Наука, том 22, 1893, стр. 195.

Уильям Х. Хоббс. "Тихие реки Западного Коннектикута", Бык. Geol. Soc. Am., том 13, 1902, стр. 17-22, стр. 1.

Исайя Боумен. Типичный случай захвата ручья в Мичигане, журнал. Геология., том 12, 1904, стр. 326-334.

ГЛАВА XIV

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Опускание в пределах ненасыщенной зоны.— Влага, выпадающая в осадок из атмосферы, та часть, которая не испаряется в воздух и не стекает на поверхность, оседает в земле и описывается как *грунтовые воды*. Здесь он самотеком опускается через поры и открытые пространства и на довольно умеренной глубине достигает зоны, полностью насыщенной водой. Глубина верхней поверхности этой насыщенной зоны меняется в зависимости от влажности климата, высоты земной поверхности и многих других столь же изменяющихся факторов. Во влажных регионах его глубина может варьироваться от нескольких футов до нескольких сотен футов, в то время как в пустынных районах поверхность может залегать на глубине тысячи футов и более.

Поверхность зоны литосферы, насыщенной водой, называется *уровнем грунтовых вод*, и хотя она менее выражена, в целом она соответствует рельефу страны (рис. 188). Его глубина в любой точке определяется по уровням всех многолетних ручьев и по уровням, на которых стоит вода в колодцах.

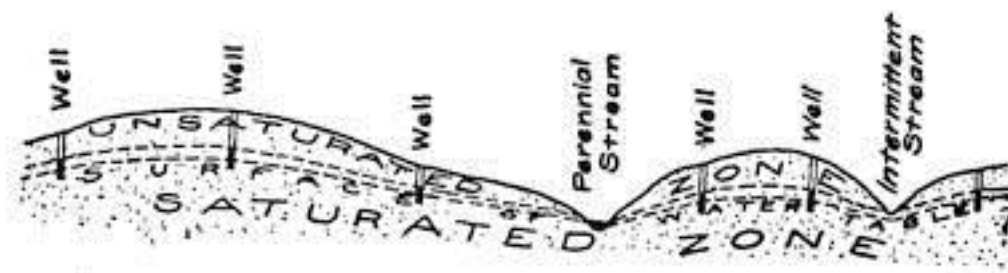


Рис. 188. Диаграмма, показывающая сезонный диапазон положения уровня грунтовых вод и причину прерывистых потоков.

В сезон небольших осадков уровень грунтовых вод понижается, и если в это время он опускается ниже дна долины, поверхностный поток в долине пересыхает, чтобы возобновиться, когда после более сильных осадков уровень грунтовых вод, в свою очередь, повысится. Говорят, что такие потоки являются *прерывистыми* и особенно характерны для полусухих регионов (рис. 188).

Везде, где при спуске с поверхности встречается непроницаемый слой, такой как глина, дальнейшее продвижение воды вниз приостанавливается. Теперь, проведенный в боковом

направлении, он выходит на поверхность в виде пружины на линии выхода верхней поверхности непроницаемого слоя (рис. 189).



Рис. 189. Схема, показывающая, как непроницаемый слой отводит нисходящую воду в боковом направлении к выходу в поверхностные источники.

Магистральные каналы нисходящей воды.—В то время как внутри неуплотненных горных пород вблизи поверхности земли, очевидно, что вода может циркулировать пропорционально тому, насколько материалы пористые и, следовательно, относительно проницаемые. Поскольку поровые пространства становятся мельчайшими и капиллярными, трудность проникновения через материалы становится очень большой. Таким образом, в несвязных породах именно крупный гравий и слои песка служат подземными каналами, в то время как мелкие глины создают эффект непроницаемой стены для циркулирующих вод. В крупнозернистом песке до трети объема материала составляет поровое пространство для поглощения и пропускания воды. Даже при таких благоприятных условиях движение воды чрезвычайно медленное и обычно составляет менее пятой части мили в год.

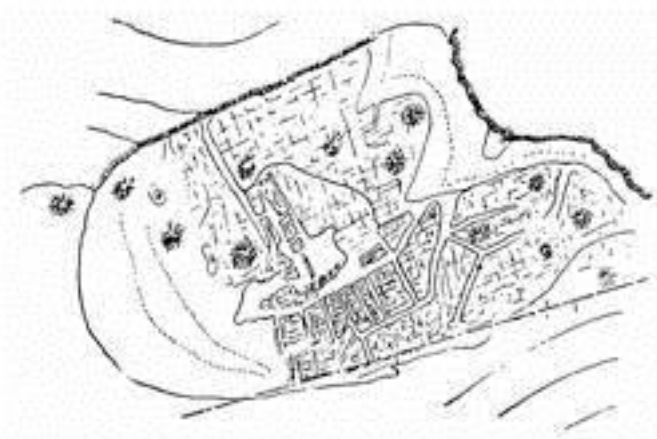


Рис. 190. — Схема Укан-де-Шабриер близ Шоржа в Высоких Альпах, иллюстрирующая коррозию известняка вдоль двух рядов вертикальных швов (после Мартеля).

В твердых породах именно песчаники имеют наибольшие пористые пространства, но почти во всех консолидированных породах вдоль определенных плоскостей залегания имеются дополнительные пространства, отверстия для стыков (рис. 190) и зоны дробления смещения, так что эти разделительные плоскости становятся, так сказать, магистральными каналами циркулирующей воды. Именно вдоль таких расщелин с течением времени откладываются минеральные вещества, переносимые водой в виде раствора, образуя рудные жилы и связанные с ними кристаллизованные минералы.

Пещеры в известняках.—Там, где известняковые образования имеют почти плоскую верхнюю поверхность, большая часть поверхностной воды проникает в породу через стыковые промежутки, которые вскоре расширяются за счет растворения в широкие щели с хорошо закругленными уступами. В местах пересечения швов раствор известняка настолько благоприятен, что вода может стекать сюда по своего рода вертикальной шахте до тех пор, пока не встретится с плоскостью залегания, проходящей сбоку и создающей более

благоприятные условия для коррозии. Теперь его движение начинается в боковом направлении, и растворение породы продолжается, туннель может быть вытравлен и расширен до тех пор, пока не будет обнаружен другой стык, благоприятствующий его дальнейшему спуску в пласт. Благодаря этому процессу по чередующимся шахтам и галереям вода спускается к поверхности грунтовых вод серией ступеней и в конечном итоге сбрасывается в речную систему района (рис. 191). В более крупных пещерах вода на самом нижнем уровне обычно течет в виде подземной реки, чтобы позже выйти на свет из-под скального свода.



Рис. 191. Схема, показывающая связь пещер в известняке с речной системой района и с “ласточкиными норами” на поверхности.

Из плана системы соединяющихся пещер часто можно заметить, что галереи нескольких уровней одинаково направлены вдоль двух прямоугольных направлений, которые указывают основные направления соединения внутри известняковой формации. Это особенно ясно видно из карты галерей в исследованных частях пещеры Мамонта (рис. 192).

Ласточкины отверстия и известняковые раковины.— Над кавернами известняковых образований выбраны точки, куда вода спустилась в наибольшем объеме, и здесь воронкообразные углубления были растворены с поверхности породы. В разных районах такие впадины стали известны как “раковины”, “ласточкины норы”, *антоннуары* и *Оргельн*. Везде, где углубления имеют характерные круглые очертания, не может быть никаких сомнений в том, что они являются продуктом растворения нисходящей водой и имеют относительно небольшие связи только с подземными пещерами. Таким образом, они естественным образом собрали на своих днищах нерастворимую глину, которая содержалась в нечистом известняке, а также определенное количество смыва со склонов с поверхности. Поскольку глины непроницаемы для воды, дно этих отверстий лучше снабжается влагой, чем поверхность окружающих пород, и, способствуя более интенсивному росту растений, оказывает сильное влияние на ландшафт (рис. 193).

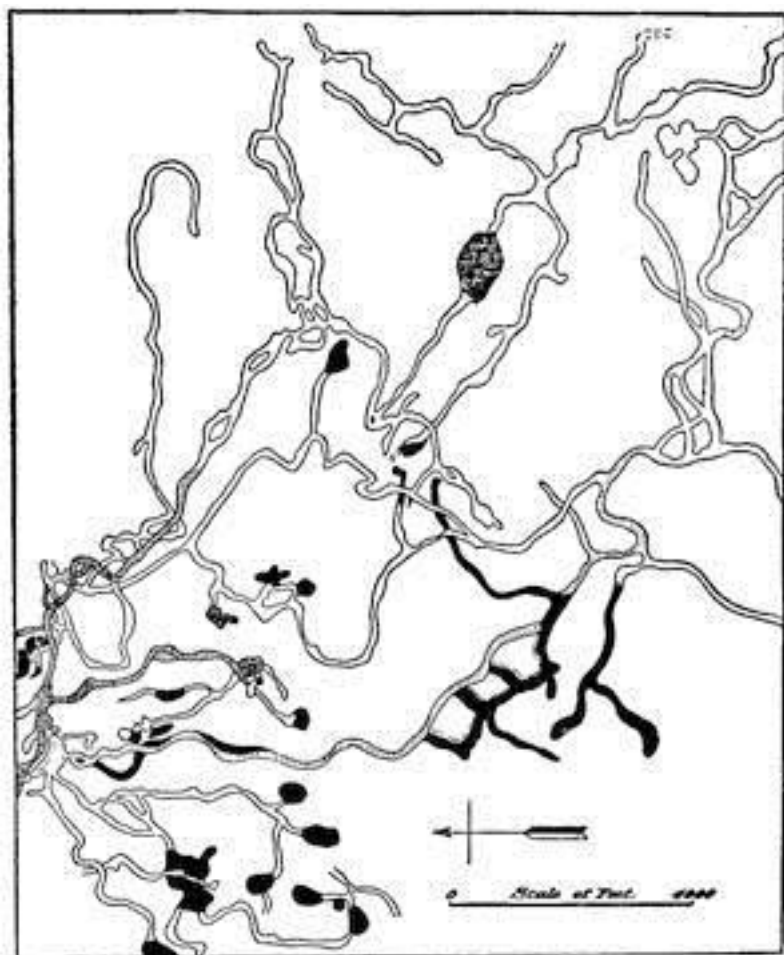


Рис. 192. План части пещеры Мамонта, Кентукки (в честь Х. К. Хови).



Рис. 193. Деревья и кустарники, пышно растущие на дне впадин в известняковой местности (по фотографии Х. Т. А. Де Л. Хуса).

Однако некоторые углубления над пещерами имеют менее правильные очертания, а их дно занято массой известняковых обломков. По крайней мере, в некоторых случаях эти углубления, по-видимому, являются результатом локального обрушения крыш пещер. Обрушение такого рода может закрыть более раннюю галерею в пещере и направить пещерные воды в новое русло. Разрушение крыш пещер в результате этого процесса обрушения может продолжаться до тех пор, пока не останутся лишь относительно небольшие остатки. Таким образом, пещеры из длинных подземных туннелей превращаются в подводные скальные мосты, которые стали известны как “естественные мосты”. Наиболее известным американским примером является Естественный мост недалеко от Лексингтона,

штат Вирджиния. Гораздо более величественные естественные мосты были образованы в песчанике совершенно другим способом, и их не следует путать с этими известняковыми остатками пещер.

Отложения агломерата.—Точно так же, как вода может растворять известковые породы с образованием каверн, она может при других условиях осаждать материал, который таким образом был превращен в раствор. Его способность удерживать карбонат извести в растворе зависит от присутствия в воде углекислого газа. Вода, насыщенная газом и растворенным карбонатом извести, называется “жесткой”, и если газ удаляют кипячением или иным способом, растворенная известь выбрасывается из раствора и осаждается в форме, хорошо известной всем хозяйкам.

Жесткая вода, текущая поверхностным потоком, если ее разбрызгивать каскадом, может осаждать карбонат извести во все более густом слое там, где брызги разбрасываются по водопаду. Этот материал, разрезанный на сечения, имеет волнистые параллельные слои и известен как *травертин* или *известковый агломерат*. Некоторые из наиболее замечательных залежей такого рода можно увидеть на каскаде Тиволи недалеко от Рима, а большинство римских зданий были построены из травертина, добываемого в карьерах поблизости.

Рост сталактитов. Вода, медленно просачиваясь через щели известняка, где она насыщается углекислым газом и растворенным карбонатом извести, может сочиться со свода пещеры. Выходя из узкой расщелины, он может выделять часть содержащегося в нем газа и обычно подвергается испарению, в результате чего карбонат извести остается прилипшим к поверхности породы, с которой происходило испарение. Если вода собирается на своде пещеры так медленно, что она может полностью испариться до того, как успеет сформироваться капля, все содержание карбоната останется прилипшим к своду. Испарение происходит наиболее быстро вблизи краев и над центром каждой капли по мере ее образования, и осадок, который остается, таким образом, принимает форму крошечных белых колец в тех точках расщелины, где есть самый легкий проход для стекающей воды. К внешней поверхности этих колец вода сначала прилипнет, а затем испарится, так как она также будет медленно просачиваться через проход в кольце, но здесь без испарения, пока не достигнет нижней поверхности. Таким образом, будет развиваться подвесная структура, растущая наружу во всех направлениях за счет отложения концентрических слоев, которые наиболее толсты вблизи крыши, и вниз в виде каменной “сосульки” за счет испарения воды, которая скапливается у вершины. Эти подвесные агломерационные образования известны как сталактиты и, таким образом, образованы концентрическими слоями, расположенными в виде серии вложенных друг в друга рогов изобилия с перфорацией почти одинакового калибра вдоль оси структуры (рис. 194).

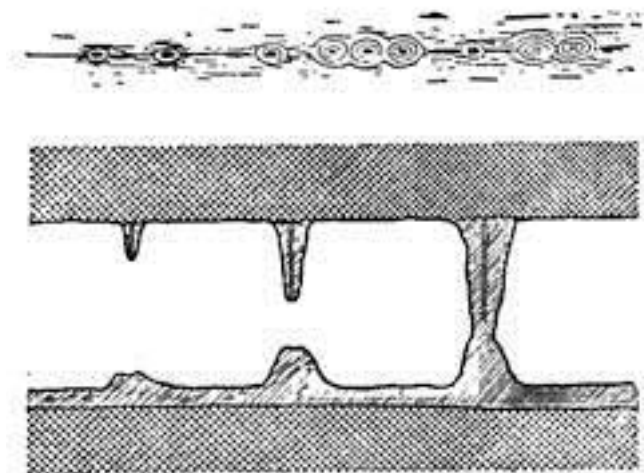


Рис. 194. Диаграммы, показывающие способ образования сталактитов, сталагмитов и колонн из агломерата под параллельными расщелинами на крышах пещер (частично после фон Кнебеля).

Образование сталагмитов.—Везде, где вода просачивается через свод пещеры так быстро, что не может полностью испариться на крыше, часть падает на пол и, разбрызгиваясь при ударе, образует относительно толстый конус агломерата, известный как сталагмит, и он точно расположен по центру под сталактитом на крыше. По мере того, как пещера становится высокой, падающая вода при ударе о пол широко рассеивается, образуя соответственно толстый и тупой сталагмит. Поскольку она поднимается по мере роста к кровле, на ее вершине часто образуется отчетливое кратерообразное углубление ([рис. 194, нижний рисунок](#)). Когда процесс продолжается долго, сталактиты и сталагмиты могут срастаться, образуя колонны, которые могут располагаться рядом со своими соседями, как трубы органа, и, подобно им, издавать чистые звуки при легком ударе молотком. В других случаях колонны соединяются со своими соседями, образуя драпировки самого фантастического и красивого дизайна ([рис. 195](#)).

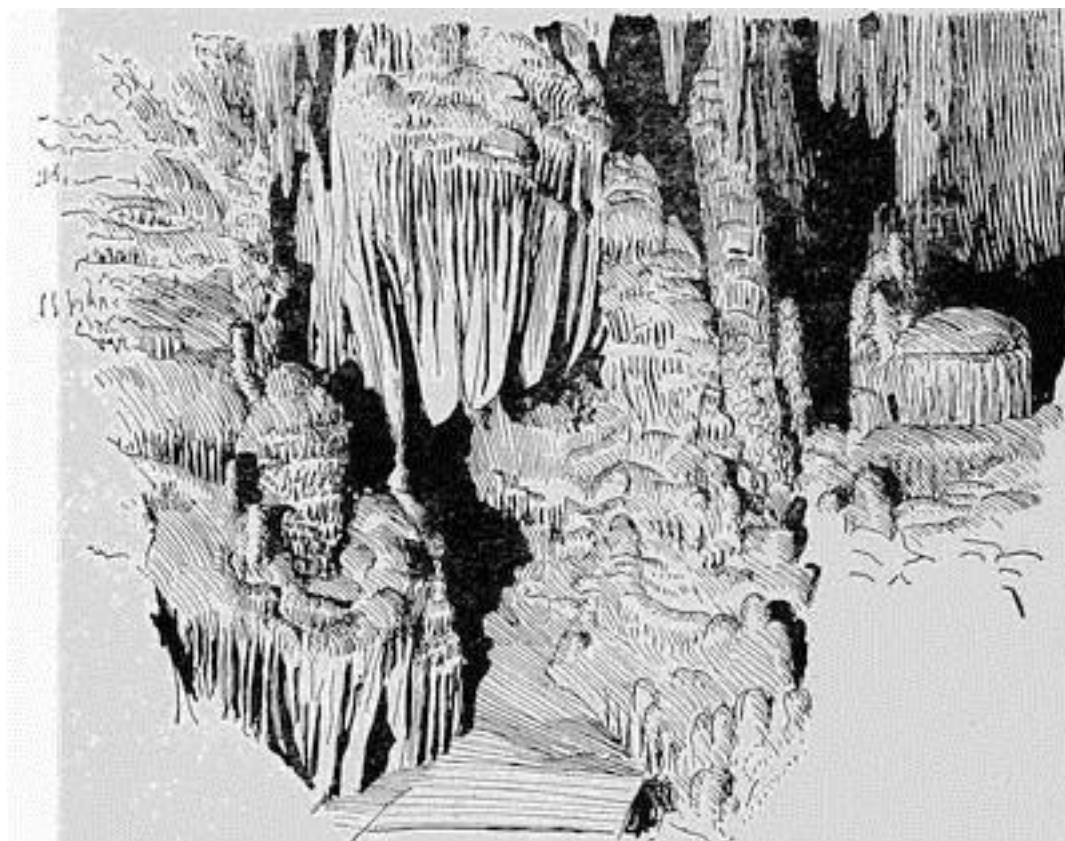


Рис. 195. Агломерационные образования в пещерах Люрей, Вирджиния.

В далекой древности известняковые пещеры служили убежищем для многих видов хищных птиц и животных, а также для наших самых ранних предков. Кости всех этих обитателей пещер погребены в глинистых и агломерационных образованиях на полу пещер, и они рассказывают историю ожесточенной и продолжительной войны за обладание этими естественными твердынями. Очевидны свидетельства того, что эти пещерные люди с помощью своего примитивного оружия иногда могли отогнать пещерных медведей, львов и гиен и устроить в пещере свои простые очаги, но, в свою очередь, были побеждены свирепостью своих врагов. В некоторых европейских пещерах обнаружено множество вагонов со скелетами этих свирепых хищных животных вместе с простым оружием первобытного человека.

Карст и его особенности.—Большинство так называемых известняков имеют большую примесь глинистых материалов (глин) и кремнистых или песчаных частиц. Такие примеси составляют основную массу глин и илов, которые остаются после растворения растворимых частей известняка.

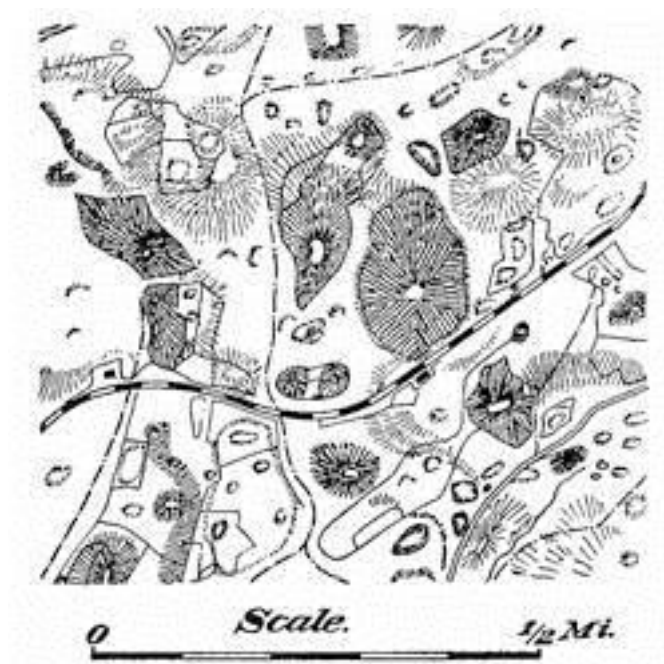


Рис. 196.— Карта долин Карстового региона близ Дивачи.

Мы обнаружили, что ласточкины норы являются характерными чертами в таких районах. Когда известняки более близки к чистоте, как в карстовом регионе к востоку от Адриатического моря, проявляются аналогичные особенности, но в более крупных масштабах, и встречаются определенные дополнительные формы. На месте сливного отверстия появляется “карстовая воронка” или *долина*, глубокое углубление чашеобразной формы с плоским дном. Такие воронки могут иметь от 30 до 3000 футов в поперечнике и от 6 до 300 футов в глубину (рис. 196). Хотя известно, что в одном или двух случаях это результат разрушения сводов пещер (рис. 197), все же, как и ласточкины отверстия в других регионах, эти более крупные воронки, как правило, являются результатом растворения нисходящими водами. Там, где они были открыты в искусственных вырубках вдоль железных дорог или в шахтах, исходная порода находится на дне неповрежденной, с небольшими расщелинами, спускающимися только на более низкие уровни. По дну долин нанесен слой плодородной красной глины, *terra rossa*, подобной той, которая получается в результате растворения фрагмента известняка в лабораторных экспериментах.

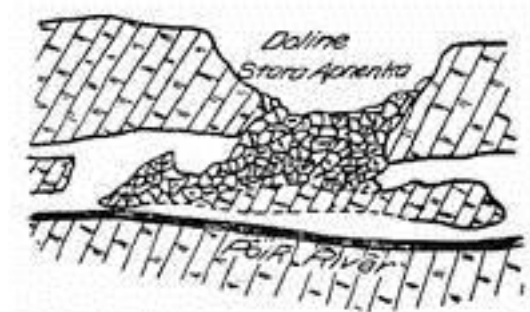


Рис. 197. Поперечный разрез долины, образованной прорывом свода пещеры. Долина Старая Аппенка в Каринтии (после Мартеля).

Пустыня, образовавшаяся в результате уничтожения лесов.—Между долинами находится настоящая пустыня с выступающими углами из известняка и практически без растительности. Вода, попадающая на поверхность, либо быстро стекает, либо спускается в

подземные пещеры, которыми подорвана большая часть территории страны. Следовательно, все сады, которые обеспечивают пропитание рассеянному населению, расположены в узких пределах дна долины. Несмотря на то, что сегодня это в значительной степени бесплодная пустошь, мы знаем, что карст на Адриатическом море в далекой древности был густо поросшим лесом регионом и что из него были сделаны мириады деревянных свай, на которых держится город Венеция. Суда, которые принесли этому порту на Адриатике его древнее процветание, были построены из дерева, привезенного с этого участка современной пустыни. Во времена венецианского величия плодородная *терра росса* покрывала каменную поверхность карста и таким образом удерживала поверхностные воды для поддержания пышного лесного покрова. После вырубки леса этот слой богатой почвы был смыт дождями в долины или в несколько ручьев региона, таким образом, оставив бесплодный участок, который будет практически невозможно восстановить ([фото 6 А](#)).

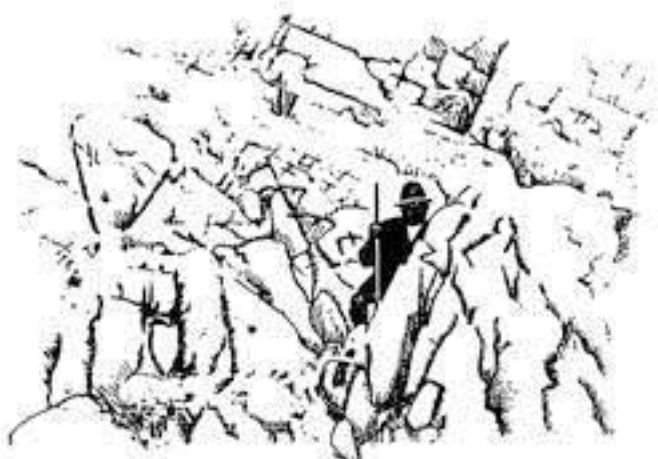


Рис. 198. Острый *Каррен* на Ифенплатте Альгой (после Эккерта).

По более крутым склонам над более чистыми известняками дождевая вода стекает, направляемая трещинами в породе. Таким образом, образуется более или менее полная сеть узких каналов ([рис. 190, стр. 181](#)), между которыми остатки поднимаются острыми лезвиями, образуя структуру, часто имитируемую на покрытой трещинами поверхности ледника, растаявшего под солнечными лучами ([рис. 401](#)). Эти почти непроходимые участки карстовой страны называются *Шраттен* или *Карренфельдер* ([рис. 198](#)).

Поноре и поле. Сегодня большие участки карста лишены поверхностных потоков, почти вся поверхностная вода стекает по щелям известняка в пещеры и там течет по подземным руслам. Пеший путешественник в Карстовой стране иногда внезапно останавливается, обнаружив у своих ног зияющую пропасть, и, заглянув в похожее на колодец отверстие глубиной в сто футов или более, он может увидеть на дне большую реку, которая вытекает из-под одной стены и исчезает под другой. Эти колодцеобразные шахты находятся в австрийском карсте, известном как *Понорес*, в то время как на юге, в Греции, они называются *Катавотрен*.

Табличка 6.



А. Бесплодный карстовый ландшафт рядом со знаменитыми гротами Адельсберг.
(Фотография И. Д. Скотта.)



В. Поверхность известнякового выступа, где швы были расширены с помощью раствора.
Сиракузы, Нью - Йорк (Фотография И. Д. Скотта.)

В других местах карстовая река может выходить из своего подземного русла в более широкой впадине, ограниченной вертикальными скалами, откуда позже исчезает под известняковой стеной. Такие карстовые впадины известны как *польени*, по-видимому, в большинстве случаев находятся над опущенными блоками в сложной мозаике разломов региона. Некоторые из этих оград с крутыми стенами имеют площадь в несколько сотен квадратных миль, и особенно во время весеннего таяния снега они заливаются водой и

таким образом превращаются в сезонные озера (рис. 199 и стр. 422). Похоже, что в такое время пещерные галереи региона с их локальными сужениями не в состоянии отводить всю поступающую к ним воду; и, как следствие, происходит временное затопление паводковыми водами тех участков русла реки, которые открыты небу и более протяженны. Прилив воды в такое время может принести красную глину в подземные каналы в достаточном количестве, чтобы засорить проходы. В озере Циркниц обычно бывает паводок два или три раза в год, и в исключительных случаях наводнения продолжаются в течение ряда лет. Таким образом, в некоторых районах было необходимо оказать помощь населению путем строительства дорогостоящих дренажных туннелей.

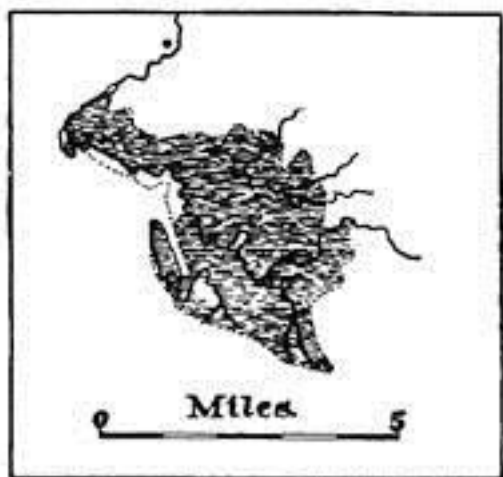


Рис. 199. Сезонное озеро Циркниц в пределах Карстового поля (после Бергхауса).

Условия, характерные для карстовой зоны к востоку от Адриатического моря, встречаются также во многих других странах; как, например, в Форарльберге и Швейцарских Альпах, в Ливане и на Сицилии.

Возвращение воды на поверхность.—Вода, которая сошла с поверхности и удерживалась там между непроницаемыми слоями, может находиться под давлением собственного веса или “напора”; и позже найдет свой путь наверх, это может быть к поверхности или выше, где в ее непроницаемом покрове обнаруживается отверстие. Такие локальные перфорации образуются естественным путем за счет линий разломов (расширенных на их пересечениях) и искусственно за счет опускания глубоких скважин. Вода, которая в обычное время достигает поверхности по трещинам, обычно концентрируется локально на пересечениях сети трещин, где она выходит линиями трещинных источников (рис. 200); но во время землетрясений вода может подниматься над поверхностью в виде линий фонтанов (стр. 83), или иногда в виде водяных пластов, которые могут подниматься в воздух на несколько десятков футов.

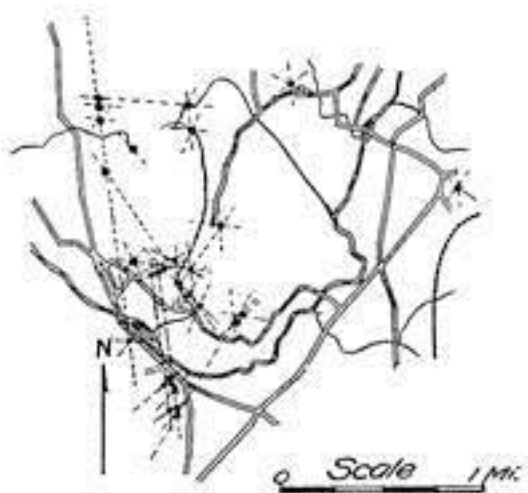


Рис. 200. Трещинные источники, расположенные по линиям разрушения горных пород на пересечениях, долина Помперог, Коннектикут.

В отличие от стока поверхностных источников, который меняется в зависимости от сезона в широких пределах как по своему объему, так и по температуре воды, на объем трещинных источников сезонные осадки влияют незначительно, и температура воды поддерживается относительно постоянной. Камень - всего лишь плохой проводник тепла, и сезонные перепады температуры опускаются только на несколько футов вглубь земли. Таким образом, вода, поднимающаяся с глубин всего в несколько сотен футов, склонна быть ледяной, в то время как с больших глубин влияние внутреннего тепла земли проявляется в равномерной, но относительно более высокой температуре воды. Такие “теплые” или *термальные* источники, как правило, содержат значительное количество минеральных веществ в растворе, как потому, что вода проходит долгий путь, так и потому, что ее более высокая температура значительно повышает ее растворяющие свойства.

Давно признано, что линии соединения различных скальных образований у основания горных хребтов являются местами, благоприятными для возникновения термальных источников. Эти линии соединения обычно проходят в пределах зон, где в результате движения по трещинам образовались самые широкие отверстия в породе, а водосборная площадь соседнего горного нагорья обеспечила напор грунтовых вод. Карта горячих источников в пределах Большого бассейна на западе Соединенных Штатов представляла бы в основном карту его основных разломов.

Артезианские скважины.—От естественного трещинного источника артезианская скважина отличается искусственным характером перфорации непроницаемого для слоя воды покрытия. Вода из артезианских скважин может вытекать на поверхность под давлением, или может потребоваться откачка, чтобы поднять ее с какого-то более низкого уровня. Идеальные условия создаются там, где геологическая структура района представляет собой широкую котловину или синклиналь. Вода, падающая с соседнего возвышения, здесь скапливается между двумя параллельными, похожими на блюдца стенками и будет течь под его напором, если перфорировать верхнюю стенку на некотором низком уровне (рис. 201, 3).

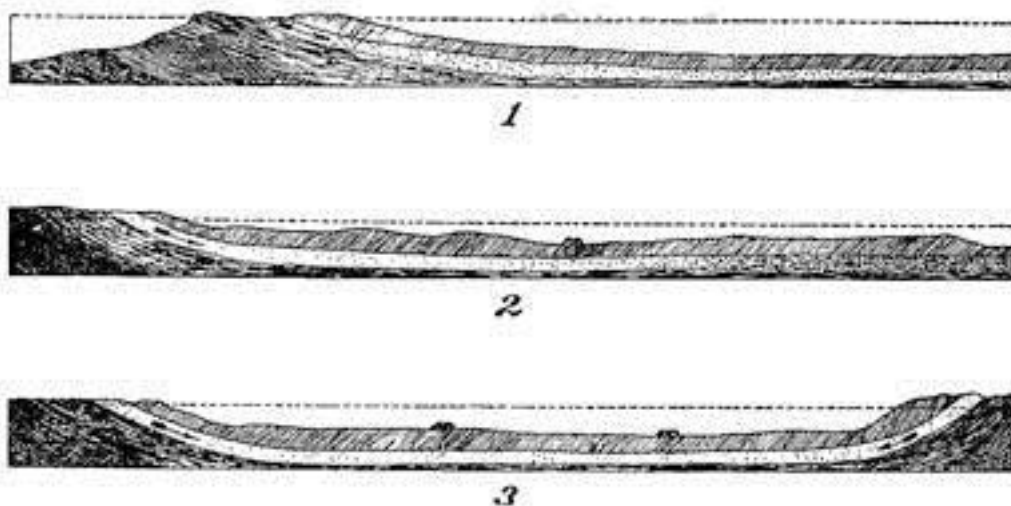


Рис. 201.—Принципиальные схемы, иллюстрирующие различные типы артезианских скважин: (1) Непроточная скважина; (2) проточные скважины без структуры бассейна, вызванные засорением проницаемого пласта; (3) проточные скважины в артезианском бассейне. Пунктирные линии - это уровни воды в проницаемых слоях (по Чемберлину).

Моноклиальная структура может обеспечивать артезианские условия, когда обычно проницаемый слой забивается на низком уровне, чтобы задерживать воду (рис. 248, 2). Насосные скважины могут успешно использоваться даже при отсутствии такого засорения, поскольку медленно текущая подземная вода легко течет по направлению ко всем свободным выходам (рис. 201, 1).

Горячие источники и гейзеры.—Термальные источники, температура которых приближается к точке кипения воды, известны как *горячие источники*. Гейзер - это горячий источник, который периодически выбрасывает столб воды и пара. Как горячие источники, так и гейзеры встречаются только в вулканических регионах и, по-видимому, связаны с неохлажденными массами кремнистой лавы. В двух из трех известных гейзерных регионов, Исландии и Новой Зеландии, вулканы по соседству все еще активны, а лавы Йеллоустонского национального парка относятся к совсем недавнему геологическому периоду, который непосредственно предшествовал так называемому “Ледниковому периоду”.

Где бы ни находились гейзеры, они находятся на низких уровнях вдоль дренажных линий, где подземные воды наиболее естественным образом вновь выходят на поверхность. Их вода проникла на значительную глубину под поверхность, но была в основном нагрета поднимающимся паром или другими испарениями. Водное путешествие совершалось в основном по трещинам, о чем свидетельствуют прохладные источники, которые часто бьют рядом с ними. Хотя некоторые горячие источники и гейзеры могут исчезнуть из района, обнаруживается, что другие формируются, и нет веских оснований думать, что гейзеры быстро вымирают, как когда-то предполагалось.

Действие гейзера было впервые удовлетворительно объяснено великим немецким химиком Бунзеном после того, как он провел исследования исландских гейзеров, а механика извержения позже была поразительно проиллюстрирована в лаборатории искусственным гейзером, сконструированным ирландским физиком Тиндалем. Во многих отношениях это действие подобно стромболианскому извержению внутри шлакового конуса, поскольку оно связано с вязкостью жидкости и сопротивлением, которое она оказывает высвобождению

образующегося пара. В случае с гейзером столб нагретой воды находится внутри вертикальной трубы и нагревается у основания столба.

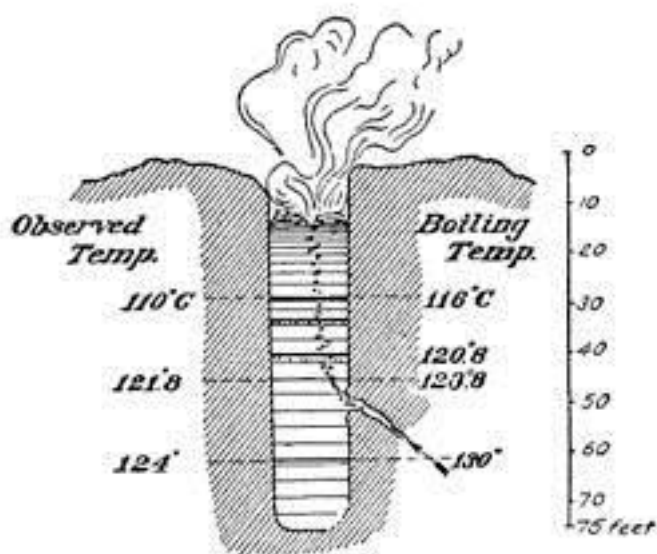


Рис. 202. Поперечный разрез Гейсира, Исландия, с одновременными наблюдаемыми температурами, зарегистрированными слева, и температурами кипения для тех же уровней справа (после Кэмпбелла).

Хотя вода на своей поверхности может иметь нормальную температуру кипения и находиться там в состоянии тихого кипения, температура кипения на всех нижних уровнях повышается за счет веса столба сверхнаполняющейся жидкости, и таким образом на какое-то время предотвращается образование пара внутри массы. На [рис. 202](#) показан поперечный разрез исландского *гейзера*, от которого произошло наше название для подобных явлений, и к этому разрезу добавлены фактические наблюдаемые температуры воды на разных уровнях, а также температуры, при которых на этих уровнях может происходить кипение. Из этого видно, что на глубине 45 футов температура воды всего на 2 ° по Цельсию ниже ее точки кипения. Небольшое повышение температуры на этом уровне из-за постоянно поднимающегося пара не только поднимет этот слой выше точки кипения, но и расширение пара внутри массы поднимет верхние слои воды в зоны, где точки кипения ниже, и, таким образом, вызовет внезапное и сильное кипение всех этих верхних частей. Так объясняется почти всеобщее наблюдение, что непосредственно перед извержением гейзеров горячая вода поднимается в чашах и обычно переливается через них.

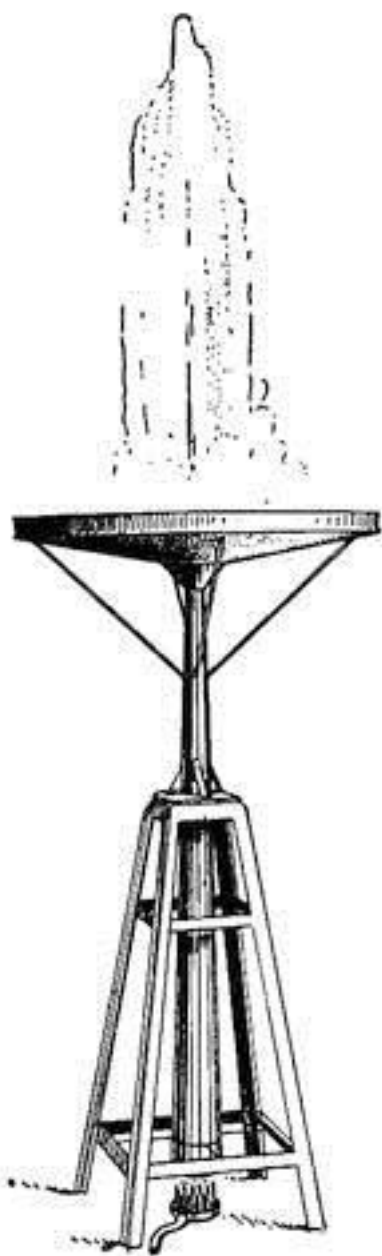


Рис. 203. Устройство для имитации действия гейзера в лекционном зале (любезно предоставлено профессором Б. В. Сноу).

Вода, выбрасываемая из гейзера, значительно охлаждается на воздухе; и после ее возвращения в трубу она должна быть снова нагрета поднимающимися парами, прежде чем может произойти новое извержение. Степень охлаждения, время, необходимое для заполнения трубки, и подача поднимающегося пара - все это играет определенную роль в определении периода, разделяющего последовательные извержения. Если верхняя часть трубки сужена по сравнению с ее средним диаметром, как это обычно наблюдается у гейзеров в Йеллоустонском национальном парке, выход пара еще больше затрудняется и способствует частому извержению гейзера.

Искусственный гейзер для демонстрации явления в лекционном зале представлен на [рис. 203](#). Вырезка была подготовлена по фотографии аппарата, разработанного профессором Б. В. Сноу из Висконсинского университета. В этой конструкции трубка сужена таким образом, чтобы верхний диаметр составлял всего четверть диаметра нижнего, куда тепло подается непосредственно несколькими лампами Бунзена. После того, как вода достаточно нагрета,

этот искусственный гейзер извергается с регулярными интервалами времени, которые зависят от размеров устройства и количества подаваемого тепла.

В случае природных гейзеров значительное количество тепла выделяется между извержениями в виде пара, который спокойно выходит из чаши гейзера. Если это тепло удерживать, затыкая устье трубы куском дерна, как иногда делают с гейзером *Строкр* в Исландии, извержение ускоряется и, таким образом, происходит раньше. Другим методом достижения того же результата является увеличение вязкости воды за счет добавления мыла, как было случайно обнаружено китайцем, который использовал воду из гейзера в Йеллоустоунском парке для стирки белья. После этого открытия стало обычным делом “намыливать” гейзеры Йеллоустоуна, чтобы заставить их играть; но этот метод был запрещен под страхом сурового наказания после катастрофического извержения гейзера Эксельсиор.

Осаждение кремнистого агломерата в результате роста растений.—Гейзеры известны только по участкам кремнистой вулканической лавы, и, возможно, причина этого кроется в более легком решении гейзерной трубки из таких материалов. Диоксид кремния, растворенный в нагретой воде, *снова* осаждается на поверхности с образованием *кремнистого агломерата* или *гейзерита*. Этот материал образует террасы, окружающие гейзеры, или насыпается в холмики, которые часто довольно симметричны, такие как гейзеры Bee Hive и Lone Star в Йеллоустонском парке (рис. 204).



Рис. 204. Конус кремнистого агломерата, образовавшийся около устья гейзера "Одинокая звезда" в Йеллоустонском национальном парке.

Большая часть этого выделения кремнезема из нагретых вод гейзеров происходит благодаря действию растений или водорослей, которые способны расти в кипящей воде и которые придают красивый цвет облицовке горячих источников. Удивительное разнообразие оттенков объясняется тем фактом, что водоросли приобретают разный цвет при разных температурах. Диоксид кремния осаждается из воды в желеобразной гидратированной форме, которая, однако, высыхает на солнце до состояния белого песка. Рост внутри бассейнов происходит аналогично росту кораллового рифа, водоросли отмирают внизу и там заключаются в скальную выстилку, все еще продолжая расти на поверхности. Принимая во внимание, что агломерат такого рода при осаждении только испарением может давать

максимальную толщину слоя в двадцатую долю дюйма каждый год, рост водорослей в результате осаждения на ограниченных площадях может достигать восьми дюймов за тот же период.

Список литературы для чтения главы XIV

Общесведения:—

Ф. Х. Кинг. Принципы и условия движения грунтовых вод, 19-я энн. Представитель Геологии США. Обзор, 1899, Часть ii, стр. 59-294, стр. 6-16.

К. С. Сликтер. Движение подземных вод, Статья о водоснабжении № 67, Геология США. Обзор, 1902, стр. 1-106, стр. 1-8; Полевые измерения скорости движения подземных вод, *там же.*, № 140, 1905, стр. 1-122, стр. 1-15.

М. Л. Фуллер. Залегание подземных вод, *там же.* № 114, 1905, стр. 18-40, pls. 4; Библиографический обзор и указатель статей, касающихся подземных вод, опубликованных Геологической службой США, 1879-1904, *там же.*, № 120, 1905, стр. 1-128.

Пещеры:—

Э. А. Мартель. Les abimes, les eaux souterraines, les cavernes, les sources, la spéléologie. Делажрейн, Париж, стр. 578. (Богато иллюстрировано.)

Х. К. Хови. Знаменитые американские пещеры. Цинциннати, 1896, стр. 228; Мамонтова пещера в Кентукки. Луисвилл, 1897, стр. 111.

Дж. У. Биди. Цикл подземного дренажа в четырехугольнике Блумингтона, Прок. инд. Акад. наук, 1910, с. 1-31.

Карстовые условия:—

Дж. Цвейич. Das Karstphänomen, Geogr. Abh., vol. 5, 1893.

Émile Chaix. La topographie du desert de platé (Hautes Savoie), Le Globe, vol. 34, 1895, pp. 1-44, pls. 1-16, pp. 217-330.

W. v. Knebel. Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänomene. Vieweg, Braunschweig, 1906, pp. 222.

А. Грунд. Die Karsthydrographie, Studien aus Westbosnien, Geogr. Abh., т. 7, № 3, 1903, с. 200.

Émile Chaix-du Bois et André Chaix. Contribution a l'étude des lapies en Carniole et au Steinernes Meer, Le Globe, vol. 46, 1907, pp. 17-56, pls. 26.

П. Арбенс. Die Karrenbildungen geschildert am Beispiele der Karrenfelder bei der Frutt in Kanton Obwalden (Schweiz). Deutsch. Alpenzeitung, Munich, 1909, pp. 1-9.

F. Katzer. Karst und Karsthydrographie. Сапеево, 1909, с. 95.

M. Neumayr. Erdgeschichte, vol. 1, pp. 500-510.

E. de Martonne. Характеристика физического состояния, стр. 462-472 (отличные резюме в этой и последней ссылке).

Э. А. Мартель. Земля коссов, Аппалачи, том 7, 1893, стр. 18-149, стр. 4-13.

Пружины с трещинами:—

А. К. Пил. Природные минеральные воды Соединенных Штатов, 14-я аннала. Rept. U. S. Geol. Обзор, Часть ii, 1894, стр. 49-88.

Уильям Х. Хоббс. Система Ньюарк в долине Помперог. Коннектикут, 21-я энн. Республика. Геология США. Обзор, Часть iii, 1901, стр. 91-93.

Артезианские скважины:—

Т. К. Чемберлин. Необходимые и квалифицирующие условия артезианских скважин, 5-е ление. Rept. U. S. Geol. Обзор, 1885, с. 131-173.

Горячие источники и гейзеры:—

А. К. Пил. Йеллоустонский парк, Термальные источники, 12-я энн. Репт. Геол. и Геогр. Обзор. (Хейден), Часть ii, раздел ii, стр. 63-454 (множество табличек и карт).

У. Х. Уид. Гейзеры, Респ. Смитсон. Инст., 1891, стр. 163-178.

Арнольд Хейг и У. Х. Уид (о горячих источниках и гейзерах Йеллоустонского национального парка), С. R. Cong. Géol. Интерн., Вашингтон, 1891, стр. 346-363.

У. Х. Уид. Образование травертина и кремнистого агломерата растительностью Горячих источников, 9-я энн. Rept. US Geol. Обзор, 1889, стр. 613-676, стр. 78-87.

М. Neumayr. Erdgeschichte, vol. 1, pp. 500-510.

Арнольд Хейг. Мыльные гейзеры, пер. с англ. Ам. Инст. мин. англ., том 17, 1889, стр. 546-553.

Джон Тиндалл. Тепло как способ движения, Нью-Йорк, 1873, стр. 115-121 (искусственный гейзер).

ГЛАВА XV

СОЛНЦЕ И ВЕТЕР В СТРАНАХ С РЕДКИМИ ДОЖДЯМИ

Закон пустыни.— Хорошо бы всегда помнить, что не существует универсального закона, который доминировал бы над процессами Природы во всех областях ее существования. Те изменения, которые, поскольку их часто наблюдают, наиболее известны, могут не иметь общего применения по той причине, что области, обычно занимаемые высокоцивилизованными расами, вместе взятыми составляют лишь небольшую часть поверхности земли. В сырых тропических джунглях, на обширных засушливых песчаных равнинах и в холодных белых пространствах у полюсов Природа запустила своеобразные и совершенно разные процессы.

Основным состоянием пустыни является засушливость, и это требует исключения из нее всего, за исключением исключительных дождевых облаков. Таким образом, пустыни окружены горными хребтами, которые служат барьерами для перехвата приносящих влагу облаков. Вследствие этого они представляют собой впадины в форме блюдца, часто с короткими горными хребтами, поднимающимися со дна, и те дожди, которые выпадают в пределах огораживания, в основном выпадают на границах. Из этих осадков ничего не выпадает из пустыни, поскольку вода в значительной степени возвращается в атмосферу за счет испарения.

Таким образом, история пустыни началась в изоляции от моря, из которого поступает облачная влага, при этом был достигнут баланс между притоком и испарением. И все же, если в пустынях нет истоков, неверно, что в них нет рек. Иногда они постоянны, часто периодичны, но в целом эфемерны и бурны. Характерный для пустынь дренаж возникает непосредственно в результате внезапных ливней. Как следствие, пустынный поток вытекает из горной стены, забитой осадочными породами, и, попадая в впадину, по большей части либо всасывается в дно, либо испаряется и возвращается в атмосферу. Растворенный материал, который был перенесен в воде, в конечном итоге остается в солевых отложениях, и большая часть наносов накапливается в толстых слоистых массах, которые по величине превосходят крупнейшие дельты в океане.

Саморегулирующийся индикатор прошлых климатических изменений.—С момента возникновения пустыни в ее изоляции от земель, впадающих в море, ее история становится индивидуальной и независимой. Увеличение количества осадков будет отмечено увеличением притока воды в бассейн, и озера, которые образуются в его самой низкой впадине, как следствие, поднимутся и распространятся на большие площади. Противоположное климатическое изменение приведет к понижению уровня озер и оставит после себя следы бывших береговых линий над уровнем воды (рис. 205). Таким образом, пустыни в некотором смысле являются саморегистрирующимися климатическими приборами, записи которых уходят далеко за пределы исторического прошлого. Из них стало известно, что чередовались периоды больших и меньших осадков, которые называются *плювиальными* и *межплювиальными* периодами.



Рис. 205. — Бывшие береговые линии на горной стене, окружающей пустыню Большого бассейна. Вид из храма в Солт-Лейк-Сити (в честь Гилберта).

Из этих записей становится известно, что Большой бассейн на западе Соединенных Штатов когда-то был занят двумя великими пустынными озерами, одно из которых в восточной части известно как озеро Бонневиль (рис. 206). С высыханием, последовавшим за серией плювиальных периодов, которые в других широтах привели к образованию больших континентальных ледников и стали известны как ледниковый период, это бывшее пустынное озеро высохло до границ Большого Соленого озера и нескольких небольших изолированных бассейнов. Между 1850 и 1869 годами уровень воды в Большом Соленом озере поднимался, в то время как с 1876 по 1890 год их уровень падал, хотя и подвергался периодическим

колебаниям, а в последние годы уровень воды в озере поднялся так высоко, что превысил все рекорды со времен оккупации страны. В результате так называемый “отрезок” железной дороги Юнион Пасифик в Соленом озере, построенный за большие деньги через мелководную часть озера, был переполнен его водами. Озеро Сава в Персидской пустыне, исчезнувшее около пятисот лет назад, вновь возникло в 1888 году, чтобы перекрыть караванный путь в Тегеран.

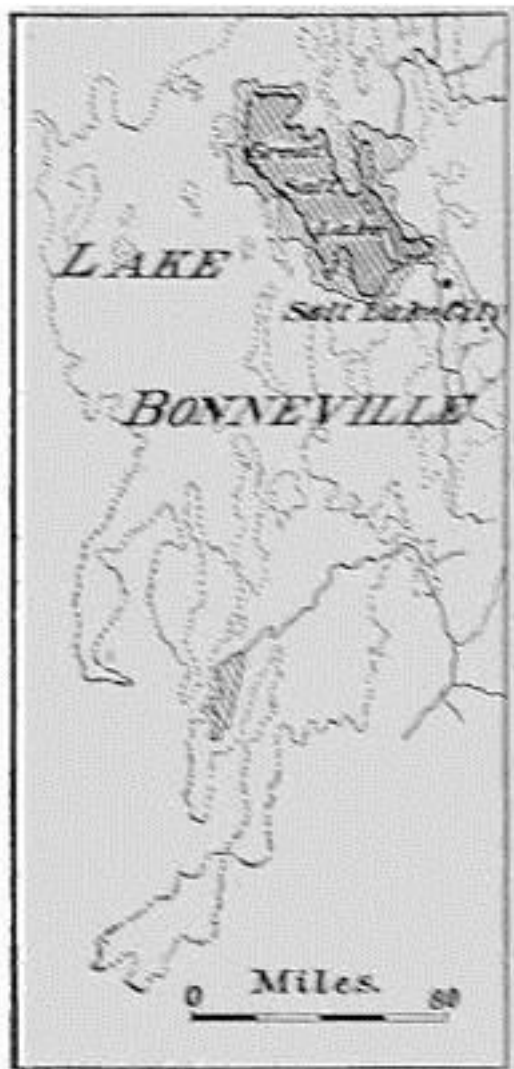


Рис. 206. Карта бывшего озера Бонневиль (пунктирные берега) и границы Большого Соленого озера 1869 года (меньшая площадь) и нынешнего (после Бергхауса).

Записи в горных породах далекого прошлого свидетельствуют о том, что в некоторых бывших пустынях барьеры со временем были разрушены, в результате чего вторгшееся море проникло через проломленную стену. Результатом стало внезапное уничтожение наземной жизни, остатки которой сохранились в “костяных пластах”, ныне покрытых настоящими морскими отложениями. Еще более поздний эпизод истории начался, когда море исчезло и наземные животные снова бродили над прежней пустыней. Такое чередование морских отложений с остатками наземных растений и животных в отложениях Парижского бассейна привело великого Кювье к его убеждению, что геологическая история состояла из последовательности катаклизмов, в ходе которых жизнь попеременно уничтожалась и воссоздавалась в новых формах - точка зрения, которая позже, под мощным влиянием Лайелла и Дарвина, уступила место точке зрения о более постепенных изменениях и эволюции форм жизни.

Некоторые характеристики пустынных пустошей. Обширные просторы засушливых земель часто сравнивали с океаном, а верблюд бедуина известен как “корабль пустыни”. Несмотря на обманчивое сходство по большей части, это сравнение не лишено ценности. Оба являются замкнутыми бассейнами, и именно в этом отношении можно сказать, что пустыня и океан больше всего похожи друг на друга, поскольку ни вода, ни осадочные породы не теряются ни в одном из них, за исключением того, что границы с течением времени перемещаются или разрушаются. Ровность поверхности и монотонность пейзажа имеют общее, и вода, и песок в каждом случае соленые; однако океан, от тропиков до полюсов, содержит одни и те же соли в практически одинаковых пропорциях, в то время как в пустыне обнаруживаются самые широкие вариации как по содержанию солей, так и по их относительному количеству.

На границах океана встречаются гряды желтого песка, нагроможденные ветром, но эти валы невелики по сравнению с теми, что встречаются на границах пустынь ([фото 7 А](#)).

Пустыня - страна географических парадоксов. Как указал Вальтер, у нас в пустыне есть дождь, который не увлажняет, источники, из которых не вытекают ручьи, реки без устьев, леса, сохранившиеся в камне, озера без истоков, долины без ручьев, озерные котловины без озер, впадины ниже уровня моря, но лишённые воды, интенсивное выветривание без покрытия из разрушенных горных пород, разложение горных пород изнутри, а не снаружи, и долины, которые разветвляются иногда вверх по течению, а иногда вниз.

В пустынях любопытные грибовидные остатки эрозии служат местным спасением от пронизывающих лучей пустынного солнца. Карманообразные отверстия, достаточно большие для жилища отшельника, выдолблены ветром из разрушенных скальных массивов. Амфитеатры открываются из небольших эрозионных долин или вад, а изолированные останцы гор стоят подобно часовым перед их массивными фасадами.

Из-за общего отсутствия облаков над пустыней нет защиты, которая обычно бывает во влажных регионах, от ослепляющих солнечных лучей. Над пустынями Западной Африки была зарегистрирована температура солнца до 180 ° по Фаренгейту. Каждый знаком с тем фактом, что покрывало из плотных облаков является защитой от ночных заморозков, поскольку с заходом солнца и последующим излучением тепла от земли эти лучи перехватываются облаками, возвращаются и рецидивируют во многих последовательных обменах. В пустынных регионах отсутствие какого-либо подобного слоя влаги является причиной значительного понижения температуры на закате. Хотя незадолго до этого могла быть измерена температура 100 ° по Фаренгейту или выше, нередко вода замерзает в течение следующей ночи. Почти такие же условия резкого изменения температуры с наступлением темноты наблюдаются в высоких горах, когда человек поднимается выше покрывающих их облаков.



Рис. 207. Отложения буре на дне долины Смерти, Калифорния (по фотографии Фэрбенкса).

Сухое выветривание — красно-коричневый лак для пустыни.—В пустынных землях яростные лучи солнца высасывают всю доступную влагу, и уровень грунтовых вод может находиться на глубине сотен футов под поверхностью. Были обнаружены корни деревьев длиной сто футов и более, свидетельствующие об ожесточенной борьбе пустынного растения с засушливыми условиями. Во влажных регионах метеоритная вода растворяет более растворимые соли натрия вблизи поверхности породы и уносит их в океан, где они усиливают соленость моря. В пустыне редкие осадки препятствуют оттоку, но сильные солнечные лучи высасывают вместе с влагой соли из горных пород, и, испаряясь на поверхности, соли остаются в виде слоя "щелочи", который частично уносится ветром, а частично смывается одним из редких ливней. В любом случае эти компоненты попадают в самые низкие впадины бассейна, где они вносят свой вклад в солевые отложения пустынных озер (рис. 207).

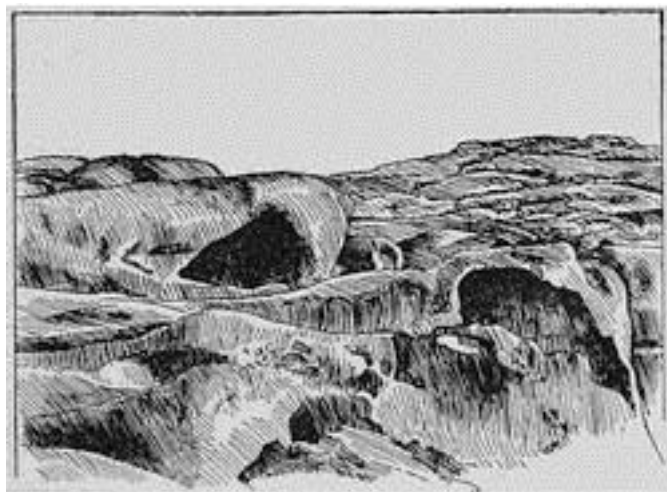


Рис. 208.— Полые формы выветренного гранита в пустыне Центральной Азии (по Вальтеру).

Некоторые солевые компоненты горных пород, вытягиваемые солнечными лучами, сливаются с породой на поверхности, образуя плотное коричневое вещество с гладким поверхностным слоем, известное как *пустынный лак*. Внутри часть солей кристаллизуется в капиллярных трещинах, и подобно воде, замерзающей внутри трубы, они разрывают стенки на части. Как прямое следствие этого процесса разрушения, внутренняя часть горных массивов может рассыпаться в песок; и если твердая оболочка из лака будет разрушена в какой—либо точке, ветер проникнет внутрь и снесет внутреннюю часть, оставив полую оболочку - характерный "карманный камень" (рис. 208) пустыни. Нуммулитовый известняк Моккатана и многие большие обтесанные блоки египетского известняка кажутся

пустотелыми под ударами молотка, а когда их разбивают, остается скорлупа толщиной всего в несколько дюймов (рис. 209).



Рис. 209.— Пустотелые тесанные блоки в стене в Вади Геррауи (по имени Вальтера).

Коричневый пустынный лак - один из наиболее характерных признаков засушливой страны. Он встречается во всех пустынях практически в одинаковых условиях и особенно часто встречается в песчанике. При царапании поверхность камня становится либо вишнево-красной, что указывает на безводный оксид железа, либо желтоватой из-за гидратированного оксида железа, который мы знаем как железная ржавчина. Таким образом, видно, что пески пустынь, в отличие от песков, образующихся в результате других процессов во влажных регионах, имеют характерный красный цвет, который может варьироваться от коричневатого-красного, с одной стороны, до насыщенного карминового - с другой.

Механическое разрушение горных пород пустыни.—Химические изменения при разложении в горных породах пустыни, как мы видели, в значительной степени обусловлены действием концентрированных растворов солей при высоких температурах. Уже упоминалось, что в этих породах происходит определенное механическое разрушение из-за “замерзания” солей внутри капиллярных трещин. Дополнительный эффект деформации возникает в таких породах, как гранит, которые представляют собой смесь различных минералов. Нагретые до высокой температуры в течение дня и значительно охлажденные ночью, различные минералы попеременно расширяются и сжимаются с разной скоростью и в разных относительных количествах, так что возникают деформации, стремящиеся разорвать их на части. Таким образом, результатом этих деформаций является поверхностное разрушение горных пород.

Но камень, как уже указывалось, является относительно плохим проводником тепла, и, следовательно, это только относительно тонкая оболочка, которая проходит через ежедневный цикл в широком диапазоне температур. Эта внешняя оболочка при нагревании расширяется и поэтому имеет тенденцию отслаиваться, подобно внешней коже лука. Поэтому процесс описывается как *отшелушивание*. Во всех породах однородной текстуры продолжение этого процесса приводит к образованию выпукло-сферических поверхностей, при этом материал, удаляемый в процессе, остается в виде склона или осыпи, которая окружает выступающий выступ (рис. 210). Обнаженные, эти выступающие купола возвышаются над краем обломков у их основания. Ни одна частица пыли не прилипает к свежей поверхности камня — никакая грязь не нарушает его ослепительной белизны. Тем не менее, под рукой лежат массы обломков, в которые можно забивать скважины глубиной более шестисот футов, не встречая ни твердых пород, ни грунтовых вод. Голые гранитные

стены иногда вздымаются на тысячи футов в воздух, такие же крутые и неприступные, как квадратные башни тирольских Доломитовых Альп.

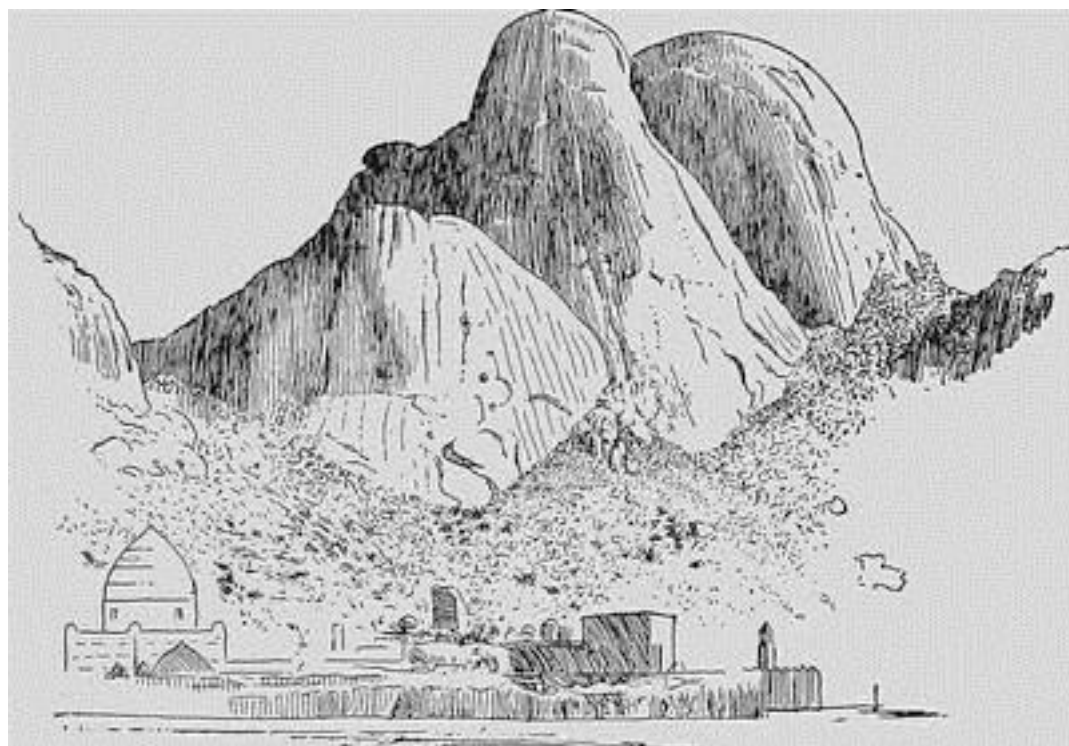


Рис. 210.— Гладкие гранитные купола, сформированные в результате отслаивания и окруженные осыпью. Гебель-Карсала, Нубийская пустыня (в честь Вальтера).

Горные породы настолько плохо проводят тепло, что на границе солнечного света и тени возникают особые напряжения. Такая локализация разрушения на границе затененных участков горных массивов известна как *тенивое выветривание* (см. [рис. 215](#), [стр. 206](#)).

Однако существует еще один процесс механического разложения, характерный для пустынных регионов, который также зависит от резких перепадов температуры. Дожди, хотя они могут не повторяться в течение года или более, проявляются в виде внезапных ливней большой мощности и силы. Скальные массивы, которые сильно нагреваются под солнцем пустыни, при внезапном попадании на них воды могут разорваться из-за дифференциальных напряжений, возникающих у поверхности. То, что камни могут легко раскалываться в результате внезапного похолодания, хорошо известно нашим северным фермерам, которые привыкли избавляться от нежелательных боулингов, сначала разводя вокруг них костер, а затем поливая их поверхность водой. Разделенные таким образом на фрагменты, даже более крупные боулдеры можно обрабатывать и таким образом вывозить с сельскохозяйственных угодий. Естественный процесс разрушения горных пород случайными порывами ветра может быть описан как *диффузия*. В пустыне западного Техаса были обнаружены глыбы диаметром до двадцати пяти футов, вскоре после того, как они были разбиты на несколько фрагментов во время проливного дождя ([рис. 211](#)).

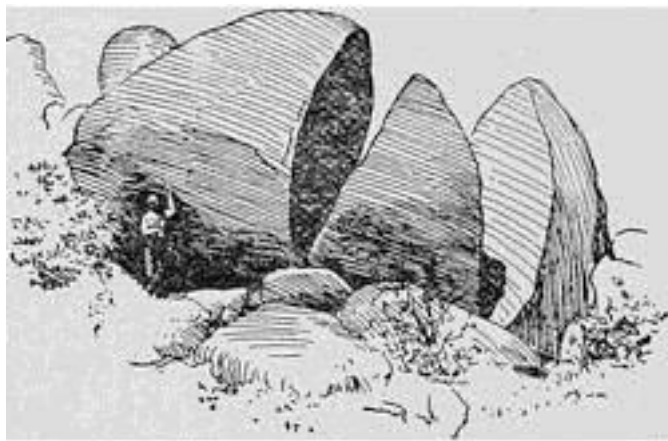


Рис. 211. Гранитные блоки в Сьерра—де-лос-Долорес в Техасе, расколотые на несколько фрагментов дождем (после Вальтера).

Естественный выброс песка.—Из-за блюдцеобразной формы, огромного пространства и отсутствия ветровых переломов силу ветра как геологического агента в пустынных районах трудно переоценить. Хотя большая часть работы выполняется с помощью инструментов, было доказано, что даже без этой помощи значительная работа выполняется только за счет трения ветра, особенно при движении в виде мощных вихрей в трещинах и закоулках. Такой износ ветром без помощи режущих инструментов известен как *дефляция*.

Однако большая работа ветра совершается с помощью более крупных или менее крупных частиц горных пород, песка и пыли, которыми он обычно насыщен над пустынями. Незащищенные каким-либо растительным покровом, материалы поверхности пустыни легко поднимаются и постоянно перемещаются с ветром. Мельчайшая пыль поднимается высоко в воздух и уносится за пределы пограничных барьеров, но ни один песок или более грубые материалы никогда не выходят за пределы границ.

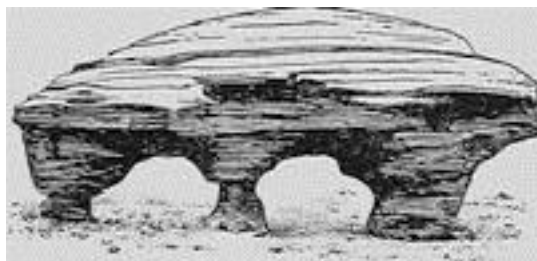


Рис. 212. “Скала—гриб” из пустыни в Вайоминге (после Фэрбенкса).

Эффективность этого песка в качестве режущего инструмента при переносе ветром прямо пропорциональна размеру зерен, поскольку более крупные фрагменты наносят более сильный удар при переносе с любой заданной скоростью. Эти более эффективные крупинки, однако, не поднимаются высоко над землей, а продвигаются извивающимися или подпрыгивающими движениями, подобно тому, как это делают более крупные камешки на дне реки во время весеннего паводка. Прочитав профессора Вальтера: “Тот, кто имел возможность путешествовать по поверхности дюнного песка при сильном ветре, легко убедился в измельчающем действии ветра. В такие моменты земля становится живой, повсюду песок стелется по поверхности змееподобными извивами, и глаз быстро устает от этих извивающихся движений потоков песка и не может долго выносить эту сцену”.

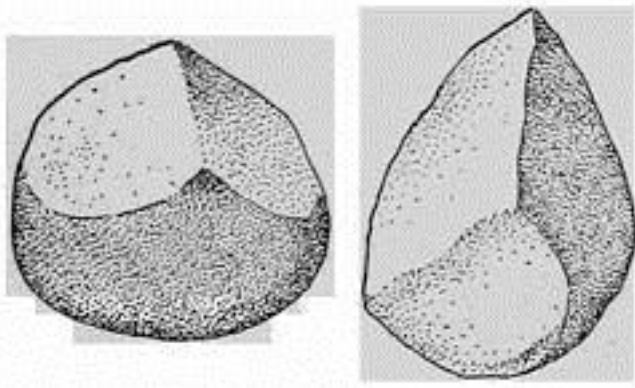


Рис. 213. Виндкантен, сформированный взрывом песка в пустыне (по образцу Чемберлина и Солсбери).

Прямым следствием такого ограничения применения более эффективных режущих инструментов слоем воздуха непосредственно над землей является сильная тенденция срезать все выступающие массы вблизи их оснований. “Грибовидные скалы”, столь характерные для пустынных ландшафтов, были сформированы именно таким образом (рис. 212). Другим продуктом взрыва песка в пустыне является так называемый *Виндканте* (край ветра) или *Дрейканте* (трехгранный), галька, которой обычно придают форму пирамиды (рис. 213).

Всякий раз, когда поверхность скалы, открытая для прямого воздействия дрейфующего песка, состоит из участков разной твердости, взрыв песка вымывает более мягкие места и оставляет более твердые на рельефе. Так образуется хорошо известная “каменная решетка” пустыни (рис. 214). В частности, на шее большого Сфинкса летящие песчинки, удаляя более мягкие слои, придали осадочным структурам песчаника четкий рельеф.

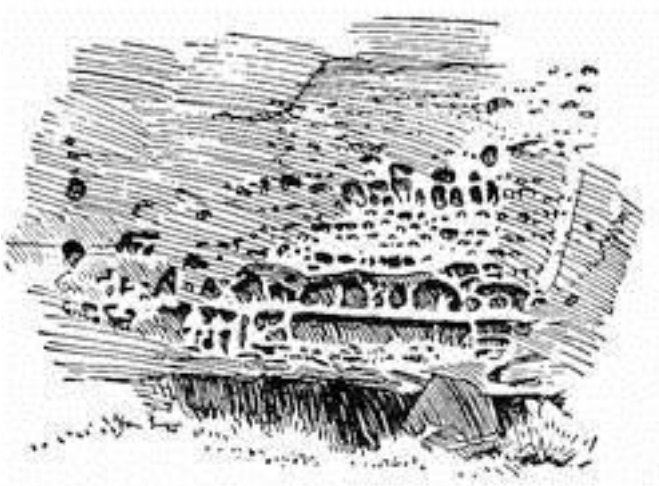


Рис. 214. — “Каменная решетка” пустыни, результат естественной пескоструйной обработки (после Вальтера).

Руководствуясь как плоскостями осадконакопления, так и плоскостями сочленения, развиваются формы с очень высокой степенью орнаментации. Некоторые из наиболее примечательных форм созданы благодаря защите, обеспечиваемой поверхностям, подверженным воздействию солнца, оболочкой из пустынного лака. В затененных частях выступающих массивов такой защиты нет, и здесь песчаная струя проникает в каждую

трещину. Этому способствует теневое выветривание из-за дифференциальных деформаций, возникающих на границе расширенной, нагретой солнцем поверхности. В результате выступающие скальные массивы иногда вытраиваются снизу и создают эффект сидящего на корточках животного. Эти формы из-за теневой эрозии также сравнивают с выступающими кранами. (Рис. 215).



Рис. 215. Выступающая скала, образованная дрейфующим песком в форме лежащего животного в результате теневого выветривания и эрозии. Высеченный в граните в Североиндийской пустыне (в честь Вальтера).

Изношенный при ударе о соседние песчинки во время транспортировки, но в гораздо большей степени при ударе о землю или твердые скальные поверхности, переносимый ветром или *эоловый* песок в конце концов истирается в гладко округлые гранулы, которые приближаются к форме сферы. По сравнению с поверхностью, которую приобретает морской песок в результате истирания, этот процесс придания формы намного эффективнее, поскольку в воде пляжный песок всплывает на поверхность и более эффективно амортизируется по отношению к соседним зернам. Зерна пляжного песка при исследовании под микроскопом оказываются гораздо более неправильной формы и обычно демонстрируют исходные поверхности разрушения только частично истертыми.

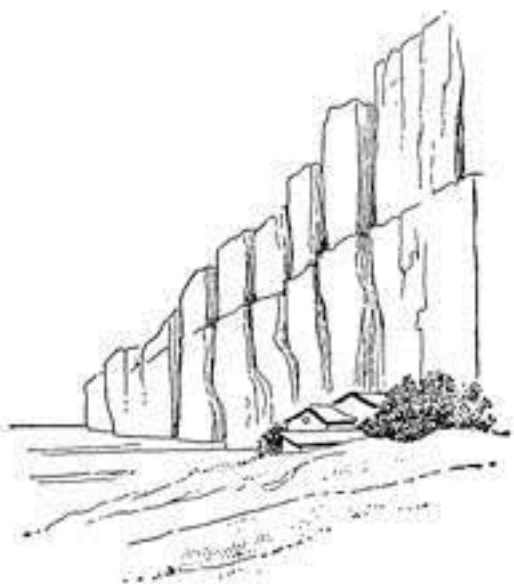


Рис. 216.— Лессовые скалы высотой 200 футов, имеющие характерную вертикальную трещиноватость (по фон Рихтофену).

Пыль, вынесенная из пустыни.— Когда, стоя на горной стене, окружающей пустыню, путешественник смотрит в наветренную сторону великой впадины, его поле зрения обычно

закрыто желтой дымкой пылевых облаков, движущихся по краям. На склонах гор, простираясь далеко за границы, это облако пыли оседает в виде окутывающей мантии из неосязаемого желтого порошка, который известен как *лесс*. Эти отложения постоянно углубляются и иногда накапливаются до тех пор, пока их толщина не достигает сотен или даже тысяч футов. Прежде чем достичь места своего последнего упокоения, пыль этого отложения, возможно, оседала много раз и, безусловно, частично перераспределялась ручьями на окраине пустыни. В нем содержатся ингредиенты, необходимые для питания растений, и он представляет собой самую важную из естественных почв. Постоянно подпитываемый новыми отложениями из пустыни и удобряемый снизу естественным путем, как только верхние слои истощаются, он не требует искусственного оплодотворения. Без искусственных вспомогательных средств лесс северного Китая обрабатывался в течение тысячелетий без каких-либо признаков истощения.

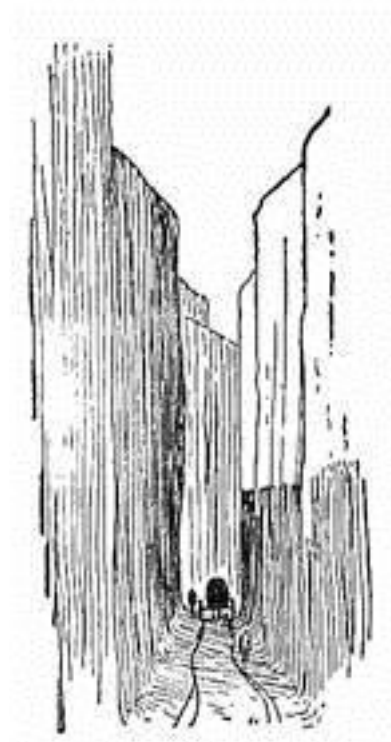


Рис. 217. Каньон в лессе, изношенный движением транспорта и ветром. Шоссе в северном Китае (в честь фон Рихтофена).

Хотя лесс легко измельчается между пальцами, он, тем не менее, характеризуется совершенной вертикальной трещиноватостью и стоит на вертикальных поверхностях, как и цельная порода (рис. 216), но он абсолютно лишен слоев или подстилок. Своей способностью удерживаться в вертикальных скалах лесс обязан постоянному содержанию карбоната извести, который действует как цемент, и своеобразной пористой структуре, образованной капиллярными каналами, которые проходят вертикально через массу, разветвляясь подобно корешкам и выстланные карбонатом извести. После разрушения этой текстуры лесс превращается в обычную липкую глину.

Ногами проходящих животных или колесами транспортных средств лесс измельчается, а часть его поднимается и уносится ветром. Таким образом, с течением времени дороги уходят глубоко в толщу в виде каньонов с крутыми стенами (рис. 217). Часть ныне бесструктурной глины, оставшейся на проезжей части, во время дождей превращается в густую грязь,

которая делает передвижение практически невозможным, хотя до того, как ее структура была разрушена, лесс полностью осушен до дна своих отложений.

Частицы, из которых состоит лесс, представляют собой остро заостренные фрагменты кварца, настолько мелкие, что все, кроме нескольких крупинок, можно втереть в поры кожи. Мелкие чешуйки слюды, которые легко поднимаются ветром, равномерно распределены по всей массе. Единственные отложения, расположенные слоями, состоят из глинистых конкреций неправильной формы. Они имеют поразительное сходство с корнями имбиря и называются китайцами “каменный имбирь”, хотя в других местах они более известны под своим немецким названием *Loessmännchen*, или лессовые куколки. Эти конкреции расположены в лессе так, что их более длинные оси вертикальны, и они, очевидно, были отделены от массы, а не отложились вместе с ней.

ГЛАВА XVI

ОСОБЕННОСТИ ПУСТЫННЫХ ЛАНДШАФТОВ

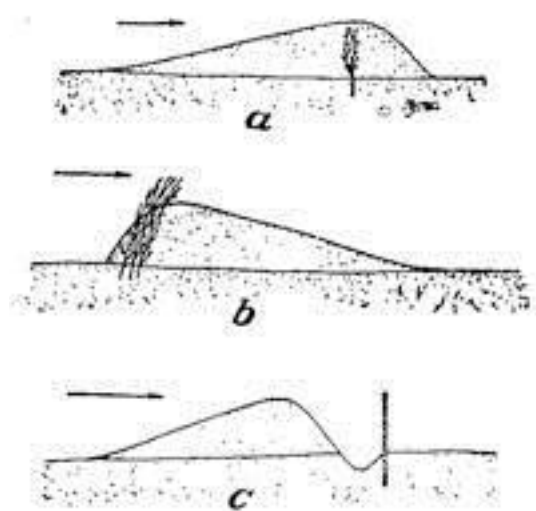


Рис. 218. Диаграммы, иллюстрирующие влияние препятствий различных типов на задержку наносимого ветром песка. а, Непроницаемое препятствие, которое пропускает ветер; б, гибкое и перфорированное препятствие; с, непроницаемый закрытый барьер (по Шульце).

Блуждающие дюны.—На обширных просторах пустыни песок и пыль, а иногда и гипс из солевых отложений, постоянно переносятся ветром; в тихие дни в воздухе кружатся “песчаные дьяволы”, но особенно во время ужасающих песчаных бурь, таких как в сезон ветров, которые затемняют воздух северного Китая и южной Маньчжурии. Этот занос песка прекращается только тогда, когда встречается препятствие — выступающий камень, куст или пучок травы, или, опять же, здания города. Способ, которым песок задерживается препятствиями различного рода, представляет большой интерес и важность и используется при возведении защитных сооружений от его посягательств. Если препятствие неподатливое, но пропускает через себя часть ветра, вихрей не образуется, и песок наносится как с наветренной, так и с подветренной стороны препятствия, образуя довольно симметричную насыпь (рис. 218 а). Препятствие, которое поддается ветру, приводит к

отложению песка в виде насыпи, которая в основном находится с подветренной стороны от препятствия (рис. 218 b). С другой стороны, сплошная стена, вызывая водовороты, сначала защищается от наносов песка и насыпей как с наветренной, так и с подветренной стороны (рис. 218 с и рис. 219).

За исключением случаев, когда дрейфующий песок задерживается препятствием, он перемещается с подветренной стороны в виде медленно перемещающихся насыпей или гребней, которые известны как *дюны*. Их движение происходит из-за того, что ветер поднимает песок с наветренной стороны и переносит его через гребень, откуда он скатывается по подветренному склону и принимает форму поверхности, которая представляет собой угол наклона материала. В отличие от этого, наветренный склон заметно пологий и формируется в соответствии с ветровыми течениями.



Рис. 219. — Песок, скапливающийся как с наветренной, так и с подветренной стороны твердого и непроходимого препятствия. Ветер дует слева (по фотографии Бастина).

Дюны, которые возвышаются на морских берегах, подобно дюнам пустыни, постоянно мигрируют, в том числе на берегах Северного моря, со средней скоростью около двадцати футов в год. Они неумолимо наступают и, несмотря на все попытки остановить их, много раз захватывали деревни вдоль побережья. На большом барьерном пляже, известном как *Курище Нерунг*, на юго-восточном берегу Балтийского моря, подобные захоронения деревень происходили неоднократно, но поскольку с течением времени продолжалась дальнейшая миграция дюны, руины погребенных деревень были эксгумированы этим естественным процессом раскопок (рис. 220).

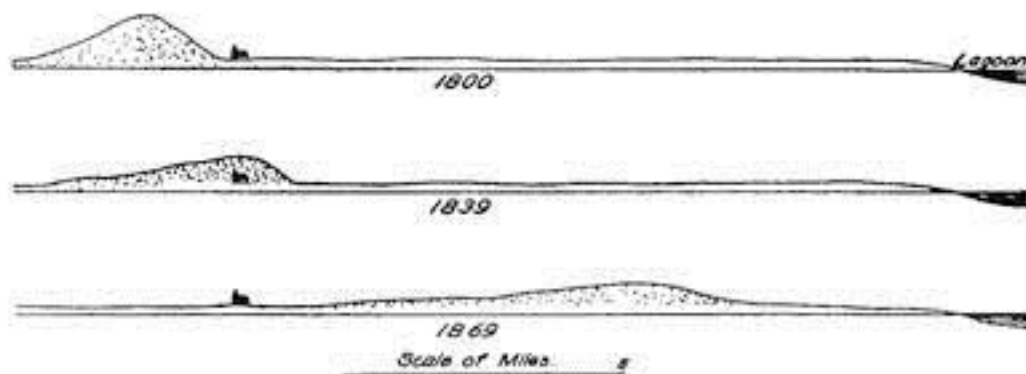


Рис. 220.— Последовательные диаграммы, показывающие, как город Кунцен был погребен, а затем эксгумирован в ходе продолжающейся миграции большой дюны на Курише Нерунг (после Берендта).

Табличка 7.



А. Гряды дюн на окраине пустыни Колорадо (после Менденхолла).



Б. Песчаные дюны, наступающие на оазис ср. Суф. Алжир (по имени Т. Х. Кирни).

Формы дюн.—Формы, которые принимают дюны, в очень большой степени зависят от силы ветра и доступного запаса песка. При небольшом количестве песка и умеренных ветрах образуются серповидные дюны, известные как *барханы* (рис. 221), чьи выпуклые и более плоские склоны обращены к ветру, а крутые вогнутые подветренные склоны поддерживаются под углом покоя. Бархан формируется ветром, проходящим как над дюной, так и вокруг нее, постоянно удаляя песок с наветренной стороны и перенося его с подветренной. При больших запасах песка и не слишком сильных ветрах сооружается ряд барханов, расположенных поперек направления ветра (рис. 222 б). При более сильных ветрах небольшие углубления на гребнях дюн превращаются в ветровые каналы, и песок затем разносится по ним до тех пор, пока расположение гребней не станет параллельным

направлению ветра (рис. 222 с). Поверхность дюн обычно отмечена красивой рябью на песке, которая при взгляде с небольшого расстояния может напоминать полинявший шелк (фото 7 А).

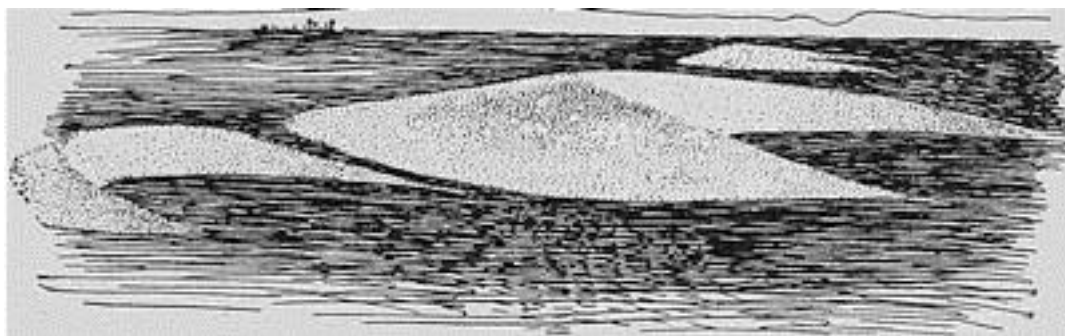


Рис. 221.—Вид барханов пустыни (после Хауга).

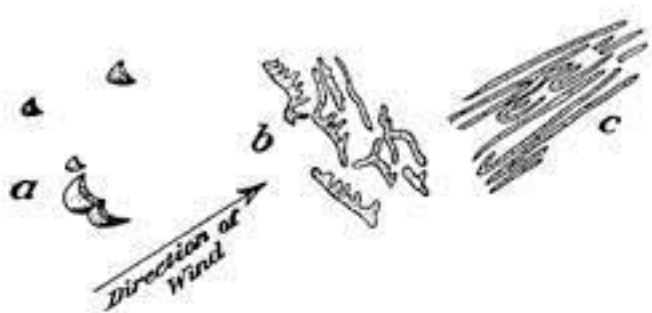


Рис. 222.—Диаграммы, показывающие зависимость формы и ориентации дюн от поступления песка и силы ветра. *а* - барханы, образованные небольшими запасами песка и умеренными ветрами; *б* - поперечные гряды дюн, образующиеся при больших запасах песка и умеренных ветрах; *с* - гряды дюн, образованные при больших запасах песка и сильных ветрах (по Уолтеру и Корнишу).

При нормальных условиях дюны не являются стационарными, а продолжают перемещаться вместе с преобладающими ветрами до тех пор, пока не достигнут внешнего края зоны растительности у основания предгорий на окраине пустыни. Здесь травы и другие растения пустыни задерживают первые попавшие к ним песчинки, и они продолжают расти все выше по мере накопления песка. Некоторые из пустынных растений, таких как юкка, настолько приспособились к условиям пустыни, что могут расти вместе с песком на много футов вверх и таким образом удерживать свои кроны над его поверхностью.

Ливневые дожди в пустыне.— Такие облака, которые проникают в пустыню через ее горные валы, а также облака, образующиеся в результате испарения с раскаленной почвы пустыни, обычно осаждают свою влагу, прежде чем покинуть бассейн. Над сильно нагретым полом висят тяжелые дождевые тучи, которые не могут сбросить свое бремя. Иногда можно увидеть, как идет дождь, но задолго до того, как он достигает земли, он снова превращается в пар, и в результате повторения этого процесса облака становятся настолько насыщенными влагой, что, когда они сталкиваются с горной стеной и, таким образом, вынуждены подниматься, внезапно разражается ливень, равного которому нет во влажных регионах. Дожди в пустыне случаются редко, но их сила несравнима. Часто в течение года или более на рыхлый песок или пористую глину не выпадает осадков, и те немногие растения, которые выживают, вынуждены пускать свои корни глубоко вниз, пока не достигнут зоны грунтовых вод. Когда облака разрываются, каждый небольшой каньон или *ср.* (*ср. вади*) внутри горной стены быстро заполняется бурным течением, которое несет густую массу наносов и

затопляет все на своем пути. Не успеет она протечь и мили, как вода, возможно, полностью исчезнет, оставив слой грязи и песка, который быстро высыхает с появлением солнца.

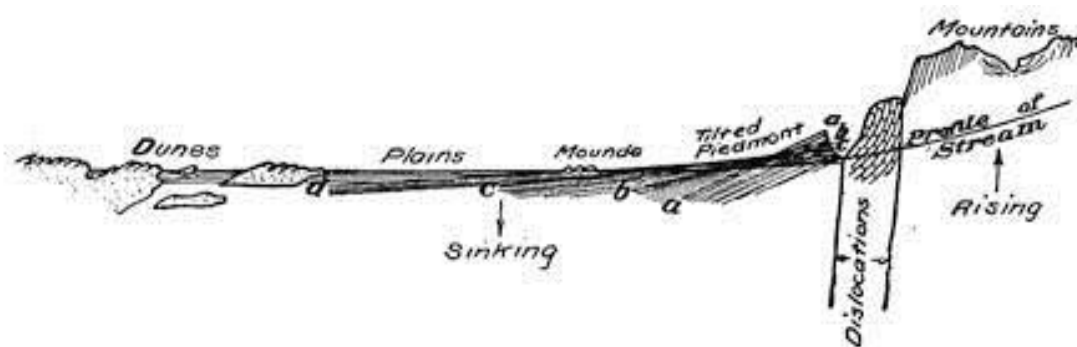


Рис. 223. Идеальный участок возвышающейся горной стены, окружающей пустыню, и часть соседнего склона (по Р. У. Пампелли).

Как горы на морских побережьях обычно поднимаются по отношению к соседнему морскому дну, так и горы, окаймляющие пустыни, обычно растут вверх по отношению к окружающему их дну пустыни. Краевые дислокации, разделяющие их, часто видны у подножия крутого склона (рис. 223), и они могут даже выглядеть как видимые сейсмические разломы, указывающие на то, что подъем происходит более ускоренно, чем отложение вдоль горного фронта.



Рис. 224. Сухая дельта или аллювиальный веер у подножия горного хребта на границе пустыни.

Зона истощающейся реки. Быстрый подъем, столь характерный для окраин пустынь, придает бурным потокам, которые развиваются после каждого ливня, такую необычную скорость, что, когда они выходят из горных долин на дно пустыни, течение внезапно останавливается, и большая часть наносов оседает в устье долины, образуя крупный отложение в дельте, которое описывается как *сухая дельта* (рис. 224). В зависимости от крутизны склона, эту дельту по-разному называют *аллювиальным веером* или *фартуком*, или *аллювиальным конусом*. На конических склонах поверхности дельты ручей разбивается на многочисленные притоки, которые разделяются подобно корням дерева. В мусульманских странах, называемых *вади*, эти участки пересыхающих дельт находятся на тихоокеанском побережье Соединенных Штатов и называются “ушами” (рис. 225).

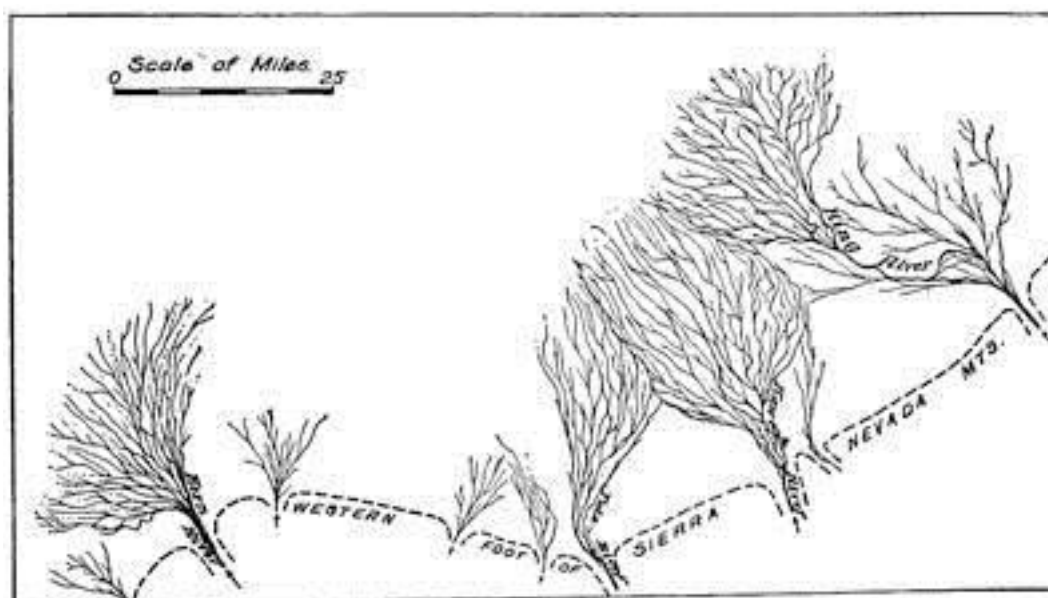


Рис. 225.— Карта распределения соседних ручьев, которые берут начало у западного подножия Сьерра-Невады в Калифорнии (по У. Д. Джонсону).

Быстро теряя скорость после выхода из гор, различные потоки сбрасывают сначала тяжелые валуны, затем крупную гальку и песок, так что к краю дельты выносятся только более мелкий песок и ил. По мере расширения своих границ соседние дельты в конечном итоге сливаются и таким образом образуют *аллювиальный выступ* или “гравийный пьедмонт” у подножия хребта. Только более крупные ручьи способны полностью пересечь эту гряду пересохших отложений с ее грубопористой структурой, поскольку вода вскоре всасывается измученными жаждой материалами. Встречая при спуске более глинистые слои, эта вода выходит на поверхность у края уступа и может там образовывать линию родников. Таким образом, на этом уровне развивается зона растительности, хотя местных дождей здесь нет.

Аллювиальный выступ растет вверх за счет срастания слоев, наиболее толстых на конце горы, так что крутизна выступа со временем увеличивается.

Эрозия в пустыне и вокруг нее.— Сильные ливневые дожди, характерные для засушливых земель, являются наиболее мощным средством моделирования поверхности земли там, где скальные породы не слишком прочно сцеплены. Под дождем формируется своеобразный тип рельефа “плохой земли” ([фото 5b](#) и [рис. 226](#)). Такая изрезанная дождями поверхность представляет собой настоящий лабиринт чередующихся оврагов и гребней, местность, непригодную для сельскохозяйственных целей и представляющую наибольшие трудности при проникновении в нее. При сложении из плотной глины с разбросанными камешками и выступами эффект “дождевой эрозии” заключается в образовании крутых глиняных столбов, каждый из которых увенчан камешком и описан как “демуазели” ([рис. 226](#)).

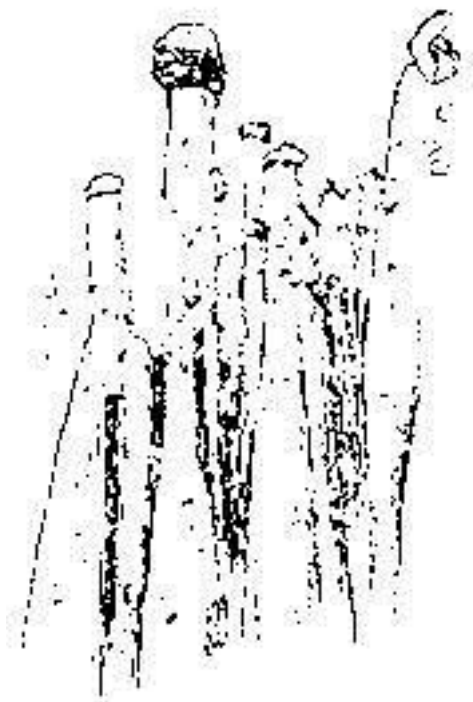


Рис. 226. Группа “демуазелей” в “бесплодных землях” (по фотографии Фэрбенкса).

За горным фронтом долины, из которых вытекают потоки, обычно короткие, с крутыми боковыми стенками и относительно плоским дном, заканчивающиеся амфитеатром с отвесными стенами (рис. 227). На западе Соединенных Штатов такие долины называются “боковыми каньонами”, но в мусульманских странах название “ср” применимо как к долине реки в горах, так и к ее притокам.

Характерные особенности засушливых земель.—Для эрозии и отложений во влажных регионах характерно, что все очертания смягчаются, превращаясь в плавные изгибы, благодаря защитному покрову растительности. В засушливых землях те массивные породы, которые не имеют структурных плоскостей разделения, частично вследствие отслаивания, образуют широкие купола, которые проецируются на горизонт в виде больших полукругов, возможно, разорванных пополам в результате смещения. Те же массивные породы, пересеченные вертикальными плоскостями сочленения, напротив, дают острые гранитные иглы, подобные гранитным иглам пика Харни (фото 8 А). Точно так же сланцевые или слоистые породы при наклоне под большим углом могут образовывать почти идентичные формы. Примеры таких иголок можно найти в Саду Богов в Колорадо.

На более низких уровнях, где летучий песок становится эффективным эрозионным средством, плоские слоистые породы вытраиваются в полки и карнизы, а при пересечении стыками полки и карнизы превращаются в группы зубчатых башен и остроконечных выступов с высокой степенью орнаментации. Эти фантастические остатки эрозии обычно называют “дымоходами”, и их можно увидеть в большом количестве на бесплодных землях Дакоты, а также в Колорадо, либо в парке Монументов, либо в новом Монолитном национальном парке (фото 8b).



Рис. 227.—Амфитеатр во главе ср. Бени Сур (в честь Вальтера).

Там, где ветровая эрозия играет меньшую роль в скульптуре, но где после поднятия воды река проложила себе путь, горизонтально залегающие скалы склонны образовывать широкие *скальные террасы*, нигде не показанные в таком грандиозном масштабе, как в Гранд-Каньоне Колорадо. Каждый более твердый слой образовал здесь пол или террасу, которая заканчивается вертикальным откосом, и он отделен от следующего нижнего слоя более устойчивой породы осыпью, которая в значительной степени скрывает более мягкие промежуточные слои. Великая пустыня Сахара представляет собой серию скальных террас или степей, которые спускаются к внутренней части бассейна.

Один более твердый слой устойчивой породы часто образует плоскую вершину плато, и тогда он известен как *меса*, или столовая гора. Вдоль его фасада отдельные останцы обычно стоят, как часовые, перед большей массой, и в соответствии с их относительными пропорциями их называют либо небольшими горными массивами, либо *холмами* (рис. 228).



Рис. 228. — Меса и прилегающий быутт на лейцитовых холмах Вайоминга (после Уитмен-Кросса, США).

Война дюны и оазиса.— В каждой пустыне отложения расположены последовательными поясами или зонами, которые попеременно являются работой ветра и воды. Вокруг пустыни и на склонах горной стены обнаружены (1) отложения лесса, образующегося из пыли,

уносимой ветром из пустыни. Непосредственно на границе пустыни у подножия гор находится (2) зона истощающейся реки с ее пологим ответвлением из крупного щебня и гравия.

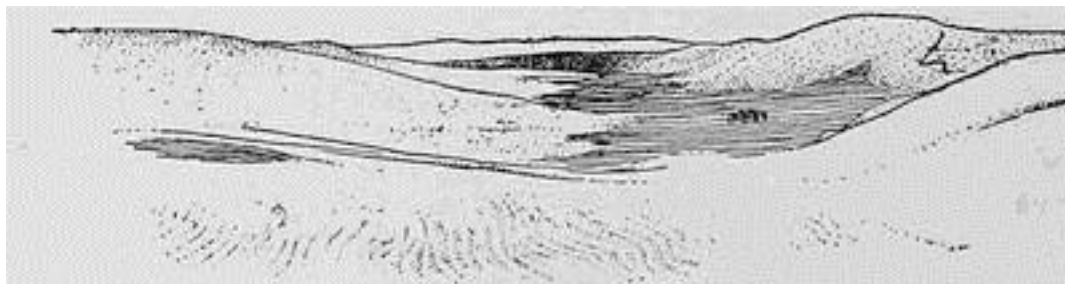
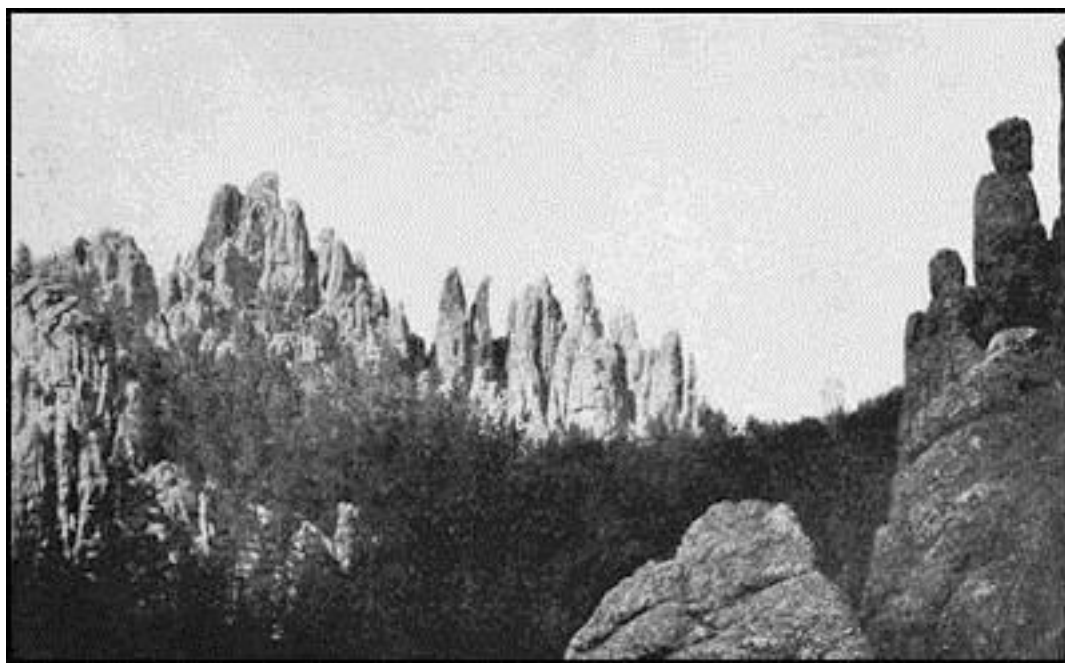


Рис. 229. Бассейн с плоским дном, разделяющий дюны — *баджир* или *такыр* (по имени Эллсворта Хантингтона).

Следующим по порядку является (3) пояс летучих песков, зона дюнных гряд, часто разделенных узкими бассейнами с плоским дном (рис. 229), в которые самые сильные потоки приносят с гор более мелкий песок и ил. Наконец, есть (4) центральный сток или стоки, в которые окончательно собирается вся вода, не сразу поглощенная в зоне намыва или в зоне дюн. Вот настоящие озерные отложения глины и отделенных солей (рис. 230 и рис. 207, стр. 201). Озерные отложения заполняют все первоначальные неровности дна пустыни, из которых теперь выступают вершины изолированных горных хребтов, подобно островам на поверхности моря. Несколько зон отложений в их порядке от окраины к центру пустыни схематично представлены на рис. 231.

Рисунок 8.



А. Гранитные иглы пика Харни в Блэк-Хиллз в Южной Дакоте (в честь Дартона).



Б. Зазубренные эрозионные дымоходы в Эль-Кобра-Каньон, Нью-Мексико. (Фотография Е. С. Case.)



Рис. 230. Волнистая поверхность соляной корки на центральном сливе в пустыне Лоб в Центральной Азии (по Эллсворту Хантингтону).

Зона растительности, как уже говорилось, лежит у подножия аллювиального выступа, так что здесь находятся оазисы, вокруг которых с самых ранних свидетельств древности и до наших дней располагались города пустыни. Сразу за линией оазисов находится стена дюн, сдерживаемых от дальнейшего продвижения только растительностью, которая, в свою очередь, зависит от дождей в соседних горах. С каждым уменьшением запаса воды дюны наступают на оазисы ([фото 7b](#)); в то время как с каждым значительным увеличением этого запаса влаги аллювиальный выступ надвигается на дюны и захватывает полосу их территории. Таким образом, с переменным успехом постоянно ведется война между иссякающей рекой и летучим песком, и изменения климата позже фиксируются в переплетении эоловых и аллювиальных отложений на их общем стыке ([рис. 231](#)).

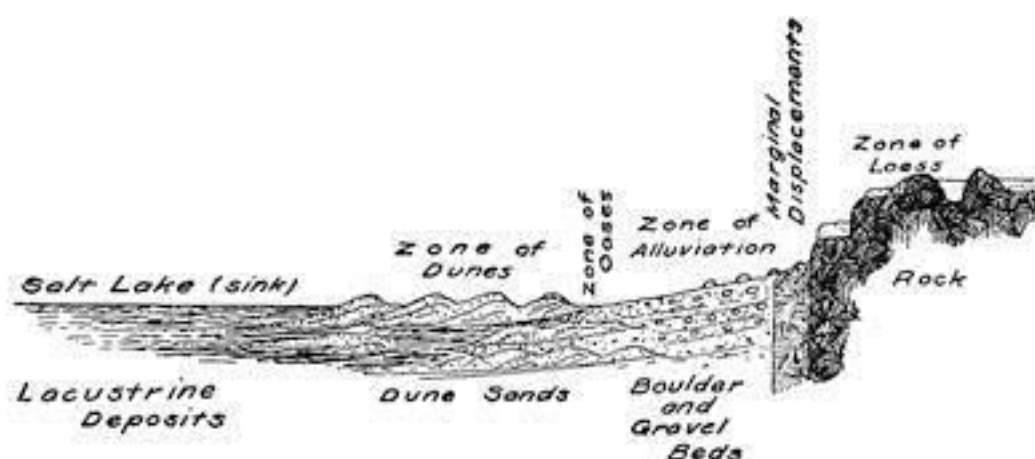


Рис. 231. Принципиальная схема, показывающая зоны отложений в их порядке от окраины к центру пустыни.



Рис. 232. Курганы на месте погребенного города Ниппур (после отлития Мюре).

В дополнение к более мелким периодическим сменам плювиального и межплювиального климата — "пульсу Азии" — данные по азиатским пустыням указывают на прогрессирующее высыхание всего региона, которое в настоящее время принесло победу дюнам. Древняя история городов равнин содержит сведения о многих из них, которые были похоронены в дюнах. Сегодня там, где когда-то были процветающие города, на поверхности не видно ничего, кроме группы курганов (рис. 232). Извлеченные после долгой кропотливой работы стены и дворцы этих древних городов вновь предстали на свет божий, и таким образом удалось многое узнать о цивилизации тех ранних времен (рис. 233). Совсем недавно курганы, покрывающие от одной до двух сотен погребенных деревень, были обнаружены на границах Таримского бассейна в Центральной Азии, где они были утеряны для истории, когда их заселили в первые века христианской эры.

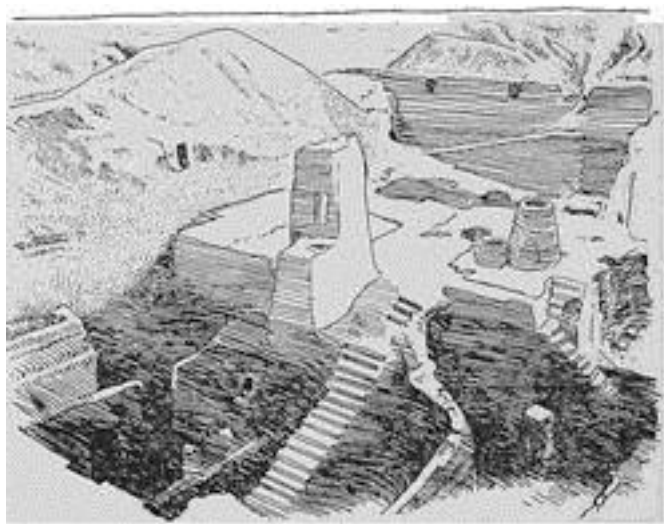


Рис. 233. Эксгумированные сооружения в погребенном городе Ниппур (по Хильпрехту).

Происхождение высоких равнин, возвышающихся перед Скалистыми горами.—К востоку от великого хребта Североамериканского континента простирается обширная равнина, слегка отклоняющаяся от хребта и обычно известная как регион Высоких равнин (фото 9). Турист, который едет на запад на поезде, поднимается по этому склону так постепенно, что, когда он достигает вершины горы, трудно осознать, что он поднялся на высоту пяти тысяч футов над уровнем моря. То, что он также прошел через несколько климатических зон — влажную, полусухую и аридную — и теперь въехал в полусухой район, легче оценить по изучению растительности (рис. 234). Поверхность Высокогорных равнин, там, где они не изрезаны реками, удивительно ровная, так что ее можно сравнить со спокойной поверхностью большого озера.

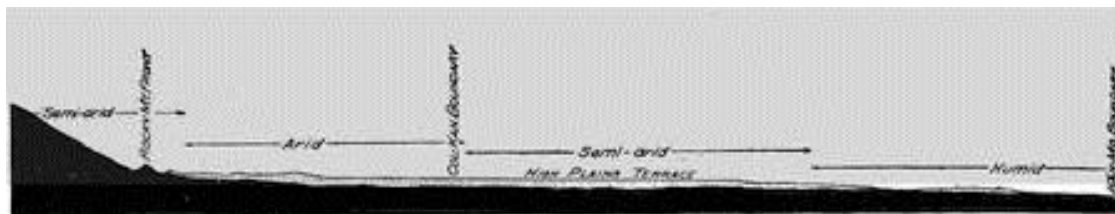


Рис. 234. Разрез Высоких равнин, показывающий положение террасы и климатических зон над ней (по У. Д. Джонсону).

Материалы, из которых состоит поверхностный слой этих равнин, представляют собой крупные конгломераты, гравий и пески, а также так называемые “слои строительного раствора”, которые представляют собой не что иное, как пески, сцементированные в песчаник карбонатом извести. Галька во всех этих отложениях имеет большое распространение и, по-видимому, образовалась в результате эрозии тех кристаллических пород, которые составляют восточный фронт Скалистых гор. Эти различные материалы не расположены строго параллельными слоями, как отложения озера или моря; но слои состоят из длинных нитей линзовидного поперечного сечения, которые переплетены самым замысловатым образом и которые тянутся вниз по склону или наружу от горного фасада (рис. 235). Таким образом, показано, что Высокие равнины представляют собой уступ или равнину аллювиации, образовавшуюся в передней части Скалистых гор в течение более ранней серии плювиальных периодов, и что последующее поднятие привело к образованию современных речных долин, которые вырезаны из равнины. Сплетение длинных нитей из

более грубых материалов представляет собой русла истощающихся рек, которые пересекались по бывшей равнине и которые со временем были погребены под другими русловыми отложениями той же природы, но в другом положении (рис. 236). Плувиальные периоды, в которые образовался этот выступ, породили в других широтах огромные континентальные ледники, которые вызвали такие удивительные изменения на севере Северной Америки и в северной Европе.

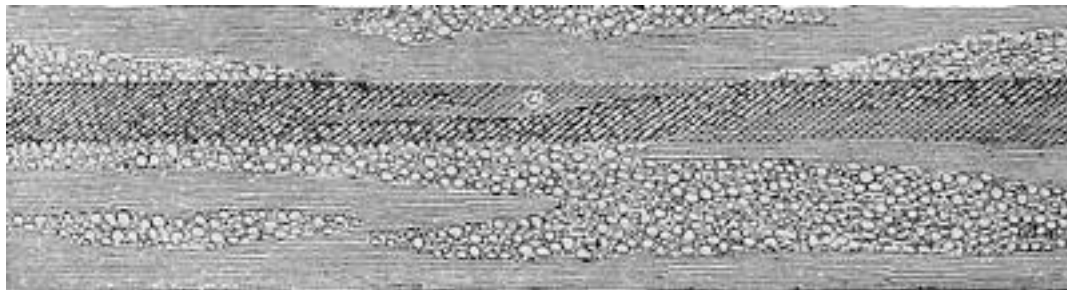


Рис. 235. Разрез поперек крупных линзовидных нитей аллювиальных отложений, составляющих облицовку Высоких равнин (по У. Д. Джонсону).

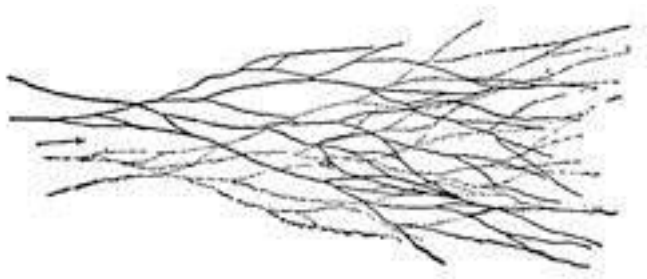


Рис. 236. Распределения предгорий, наложенные на более раннюю серию (по У. Д. Джонсону).

Профили персонажей.—В отличие от профилей ландшафтов влажных регионов (см. Рис. 187, стр. 177), профили аридных земель отмечены более прямыми элементами (рис. 237). Почти единственным важным исключением являются купола из массивных гранитных монолитов, которые иногда раскалываются пополам в результате больших перемещений. Ниже горизонта второстепенные линии ландшафта подчеркивают ту же прямолинейность составляющих элементов остроконечными склонами осыпи, которые многократно повторяются так, что почти воспроизводят линии карточного домика, поскольку наклонные линии сохраняются под углом наклона материалов (рис. 482, стр. 443). Везде, где волны пустынных озер обрушивались на скалы и удаляли выступающие отроги, в ландшафт вводятся другие фронтоны, характеризующиеся несколько иными склонами.

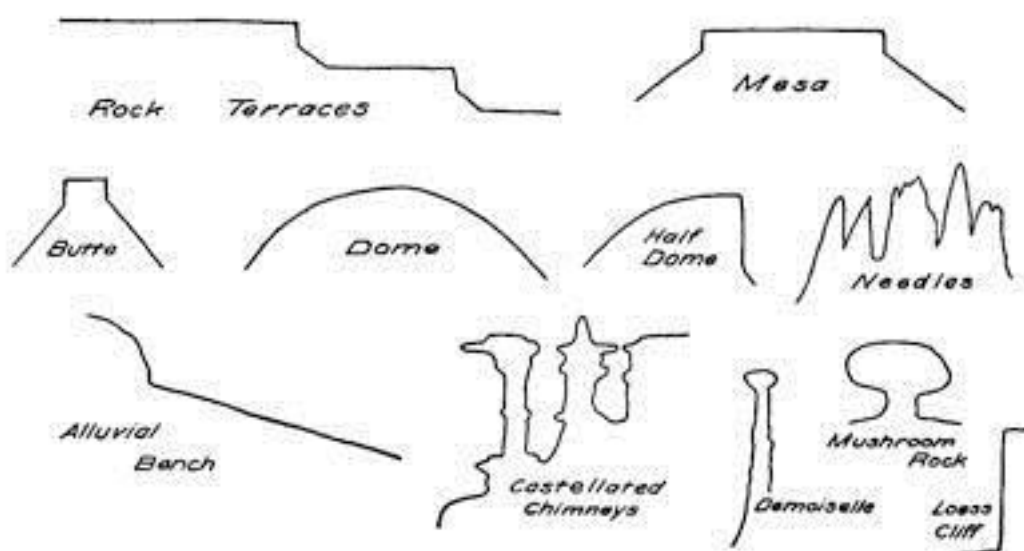
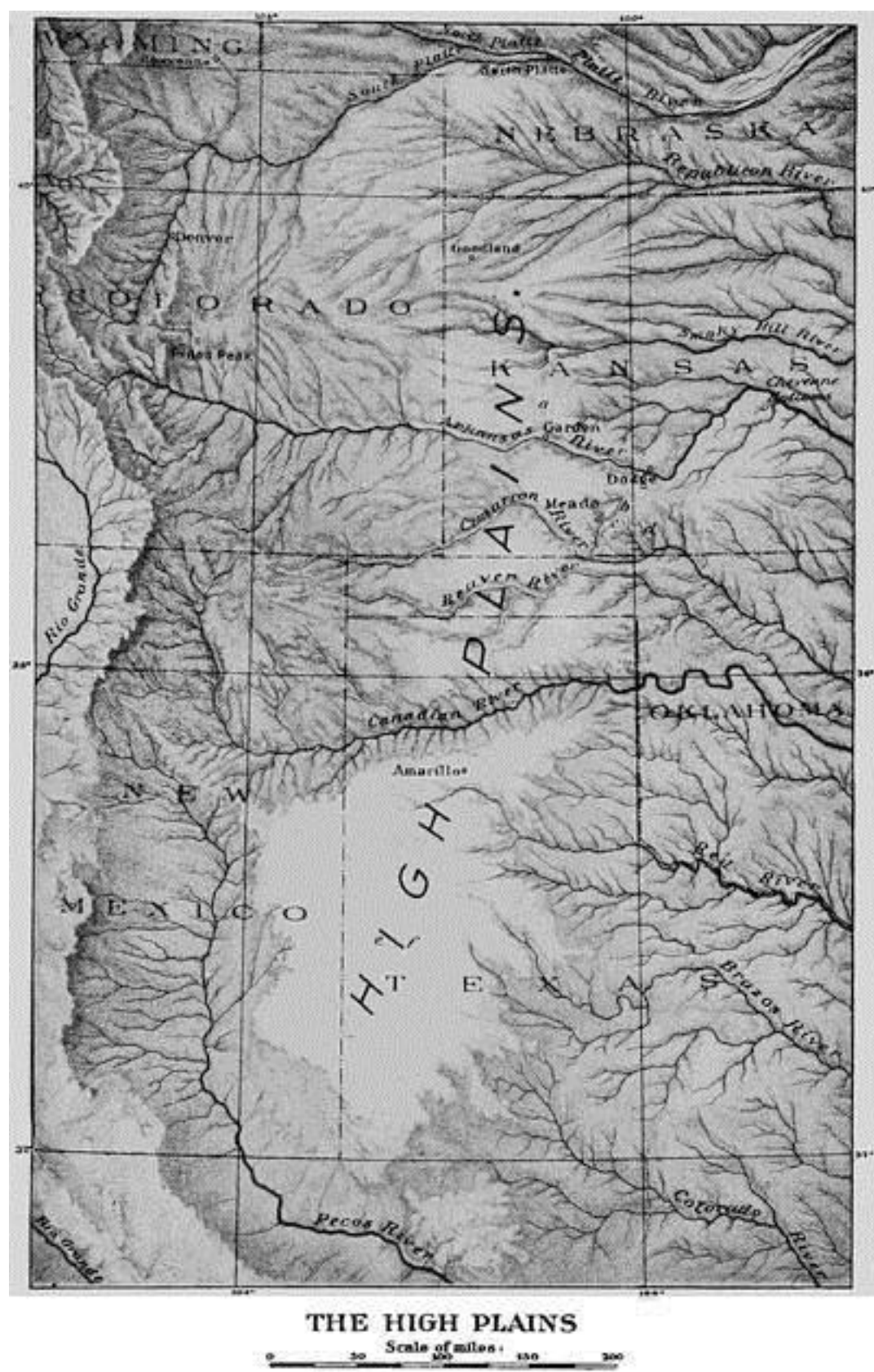


Рис. 237. Профили персонажей в ландшафтах засушливых земель.

Табличка 9.



Список литературы для чтения к главам XV и XVI

Общие сведения:—

Йоханнес Вальтер. *Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit*. Берлин, 1900, стр. 175, много табличек. (Этот чрезвычайно ценный труд в настоящее время вышел из печати, но к 1912 году обещаны как исправленное издание, так и перевод на английский.)

Siegfried Passarge. *Die Kalihari*. Берлин, 1904, стр. 662.

У. М. Дэвис. Географический цикл в засушливом климате, журн. Геол., т. 13, 1905, с. 381-407.

Эллсворт Хантингтон. Пульс Азии. Нью-Йорк и Бостон, 1907, стр. 415.

Свен Хедин. Научные результаты путешествия по Центральной Азии, 1899-1900. Стокгольм, 1904-1905, тома. 1 и 2, стр. 523 и 717, стр. 56 и 76.

Джозеф Баррелл. Относительное геологическое значение континентального, прибрежного и морского осадконакопления, журнал. Геол., т. 14, 1906, с. 316-356, 429-457, 524-568.

Э. Ф. Готье. *Études sahariennes*, Ann. de Géogr., vol. 16, 1907, pp. 46-69, 117-138.

Саморегулирующийся датчик прошлых климатических изменений:-

Г. К. Гилберт. Озеро Бонневиль, понедельник. I, Геол. США. Обзор, глава vi, стр. 214-318.

Т. Ф. Джеймисон. Внутренние моря и соленые озера ледникового периода, Геол. Маг. III десятилетие, том 2, 1885, стр. 193-200.

Дж. Э. Талмедж. Большое Соленое озеро, настоящее и прошлое. Солт-Лейк-Сити, 1900, стр. 116, иллюстрации.

Э. Хантингтон. Некоторые характеристики ледникового периода в незамерзающих регионах, Бык. Геол. соц. Ам., том 18, 1907, стр. 351-388, стр. 31-39.

Т. К. Чемберлин. Будущая обитаемость Земли, представитель. Смитсон. Инст., 1910, с. 371-389.

Красно—коричневый лак для пустыни:-

И. К. Рассел. Субаэриальный распад горных пород и происхождение красного цвета некоторых образований. Булл. 52, Геол. США. Обзор, 1889, стр. 65, стр. 5.

Эрозия в пустыне:—

Дж. А. Удден. Эрозия, перенос и осаждение, осуществляемые атмосферой, Журнал. Геол., т. 2, 1894, с. 318-331.

С. Пассарж. *Die pfannenförmigen Hohlformen der südafrikanischen Steppen*, Pet. Митт., том 57, 1911, стр. 57-61, 130-135.

Пыль, вынесенная из пустыни:—

F. von Richtofen. *China, Ergebnisse eigene Reisen und darauf gegründeten Studien*, Berlin, 1877, vol. 1, pp. 56-125.

Э. Хилгард. Лесс долины Миссисипи, Журнал Am. Jour. Sci., (3), том 18, 1879, стр. 106-112.

Т. К. Чемберлин и Р. Д. Солсбери. Предварительный доклад о районе без дрейфа в Верхней части долины Миссисипи, 6-е анн. Республика. Геология США. Обзор., 1885, стр. 278-307.

Т.е. свободен. Движение почвенного материала ветром, с библиографией золотой геологии С. К. Штунца и Э. Э. Фри, Булл. 68, Бюро почв США, 1911, стр. 272, стр. 5.

M. Neumayr. Erdgeschichte, vol. 1, pp. 510-514.

E. de Martonne. Géographie physique, pp. 663-668.

Дюны:—

Вон Корниш. О формировании песчаных дюн, География. Журнал., том 9, 1897, стр. 278-309 (важнейший документ).

Ф. Солджер и другие. Dünenbuch. Enke, Stuttgart, 1910, pp. 373.

Зона истосящейся реки:—

Э. Хантингтон. Пограничные пояса бассейна Тарима, Бык. Am. Geogr. Соч., т. 38, 1906, с. 91-96; Пульс Азии, с. 210-222, 262-279.

Война дюны и оазиса:—

Р. Пумпелли. Исследования в Туркестане, экспедиция 1904 г. и др., стр. 73, журнал. Инст., Вашингтон, том 1, стр. 1-13.

Э. Хантингтон. Оазис Харга, Булл. Am. Geogr. Соч., вып. 42. 1910, стр. 641-661.

Т. Х. Кирни. Страна людей-муравьев, нац. Geogr. Mag., vol. 22, 1911, pp. 367-382.

Особенности засушливых земель:—

К. Э. Даттон. Третичная история района Гран-Каньон, с Атласом, понедельник. II, Геол. США. Обзор, 1882, стр. 264, стр. 42, карты 23.

Г. Свейнфурт. Листы карты пустыни Восточного Египта. Берлин, 1901-1902, 8 листов.

Происхождение высоких равнин:—

У. Д. Джонсон. Высокие равнины и их использование, 21-я энн. Rept. U. S. Geol. Обзор, Часть iv, 1901, стр. 601-741.

ГЛАВА XVII

ПОВТОРЯЮЩИЕСЯ УЗОРЫ В РЕЛЬЕФЕ ЗЕМЛИ

Процессы выветривания находятся под контролем системы трещиноватости. В предыдущей главе мы узнали, что породы, составляющие оболочку земной поверхности, пересечены системой совместных трещин, которые в малотревоженных областях разделяют поверхностные слои на почти квадратные перпендикулярные призмы (рис. 36, стр. 55), более или менее модифицированные дополнительными диагональными соединениями, а часто и более беспорядочными трещинами. На больших площадях эти трещины могут иметь почти постоянное направление, хотя один или несколько основных рядов могут локально

отсутствовать. Эта отличительная архитектура поверхностной оболочки литосферы оказала свое влияние на различные процессы выветривания, а также на деятельность проточной воды и других менее распространенных переносящих агентов на поверхности.

В высоких широтах, где воздействие мороза является доминирующим процессом выветривания, вода, просачиваясь вдоль швов и в результате многократных замерзаний, разрушила породу в непосредственной близости от этих разломов и, таким образом, нанесла на поверхность изображение лежащего под ними рисунка структурных линий (фото 10 А).

В гораздо более низких широтах и в регионах с недостаточным количеством осадков те же структуры формируются на рельефе, но в результате других процессов выветривания. В случае менее связанных отложений в этих провинциях начальные формы их эрозионной поверхности иногда определялись по проливным дождям, вызванным внезапным выпадением облаков. Таким образом, “плохие земли” могут иметь свои первоначальные овраги, направленные и расположенные на расстоянии друг от друга в соответствии с нижележащими объединяющими структурами (рис. 238).

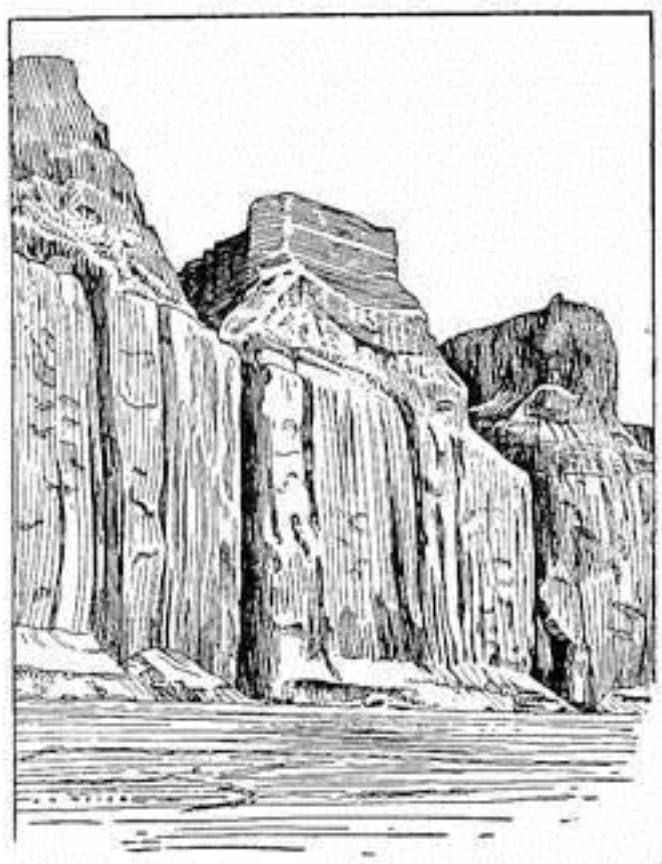


Рис. 238. — Скульптура дождя под контролем суставов. Побережье Южной Калифорнии (по фотографии Фэрбенкса).

В тех частях регионов с умеренным климатом, которым благоприятствует влажный климат, растительный покров удерживает слой почвы, а подстилка и почва в сочетании эффективны для предотвращения любых таких сильных заморозков, которые характерны для приполярных регионов или для высоких уровней в засушливых землях. Во влажных регионах горные породы становятся особенно уязвимыми для процессов растворения и сопутствующего химического разложения, и эти процессы, хотя и регулируются течением

просачивающихся грунтовых вод вдоль плоскостей разломов, не дают таких ярких примеров контроля рельефа поверхности.

Однако те известняки, которые медленно переходят в раствор в просачивающейся воде, в целом указывают на локализацию раствора вдоль каналов соединения (рис. 239 и фото 6b). Хотя в других породах это не так заметно, все же растворы обычно протекают по тем же каналам, и на них локализуется развитие новообразованных гидратированных и карбонатных минералов, что хорошо иллюстрируется явлением сфероидального выветривания (рис. 155, стр. 150).

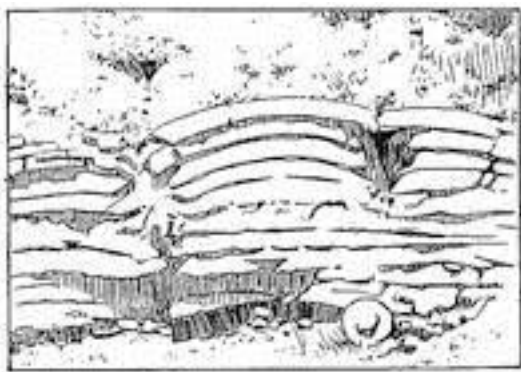


Рис. 239. Обнажение чешуйчатого известняка, которое показывает влияние раствора вдоль соседних швов при просадке верхних слоев (по Гилберту, США).

Контроль разрушения дренажных линий. Вытравливание архитектурного плана земли в рельефе поверхности, которое, как мы видели, началось в процессе выветривания, продолжается после того, как вступили в силу транспортирующие агенты. Часто легко увидеть, что река проложила свое русло прямоугольными зигзагами, похожими на колена сочлененной печной трубы, и что ее стены образованы стыковыми плоскостями, из которых в русло время от времени выступают прямоугольные контрфорсы. Это сооружение представлено на плане каньона Абиско в северной Лапландии (рис. 240). Позже мы узнаем, что другой мощный переносчик, водяная волна, избирательно воздействует на литосферу вдоль разломов совместной системы (рис. 250, с. 233 и рис. 254, с. 235).

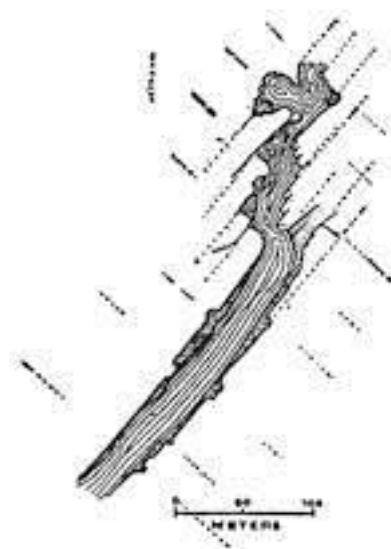


Рис. 240.— Карта совместно контролируемого каньона Абиско в северной Лапландии (по Отто Шегрену).

Там, где масштаб примера велик, как в приведенных выше случаях, фактическое положение и направления соединительной стенки легко сравнить с близлежащими элементами русла реки, так что связь дренажных линий с нижележащей структурой становится очевидной сразу. Во многих примерах, где масштаб невелик, свидетельство контролирующего влияния структуры горных пород на определение русла ручьев можно найти в своеобразном характере плана дренажа. Для иллюстрации: русло реки Замбези в ущелье ниже знаменитого водопада Виктория не только многократно поворачивает под прямым углом, но и ее притоки, вместо того чтобы образовывать обычный острый угол там, где они впадают в основной поток, также создают прямой угол в своих местах слияния (рис. 241).

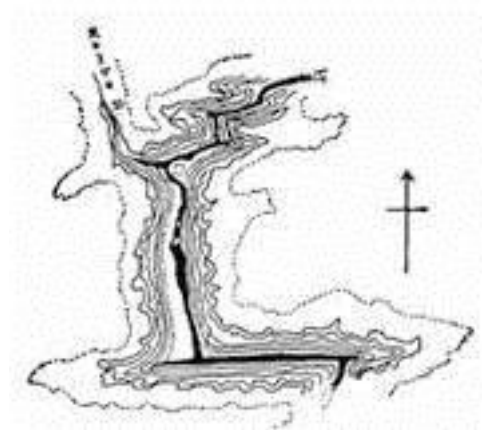


Рис. 241. Карта ущелья реки Замбези ниже водопада Виктория (после Лэмплафа).

Повторяющийся рисунок в дренажных сетях.—Характерной чертой системы суставов является то, что трещины в каждом ряду расположены примерно равномерно. Если план дренажной системы был скорректирован в соответствии с архитектурой подстилающего скального основания, можно ожидать появления одинаковых повторяющихся прямоугольников основных швов в линиях дренажа — так называемой дренажной сети.

Такие прямоугольные узоры очень часто встречаются в дренажной сети, хотя на современных картах они часто замаскированы тем, что геологу кажется дерзким вторжением черных линий надпечатки, обозначающих железные дороги, линии шоссе и другие элементы культуры. На картах рек, которые напечатаны без учета культуры, рисунок гораздо легче распознать (рис. 242 и 243). Везде, где рельеф сильный, как в случае с горной провинцией Адирондак штата Нью-Йорк, отдельные холмы могут рельефно выделяться между ограничивающими их ручьями, которые образуют прямоугольную сеть, подобно квадратным пьедесталам памятников. Такой тип рельефа, вырезанного повторяющимися узорами, был описан как “топография шахматной доски”.

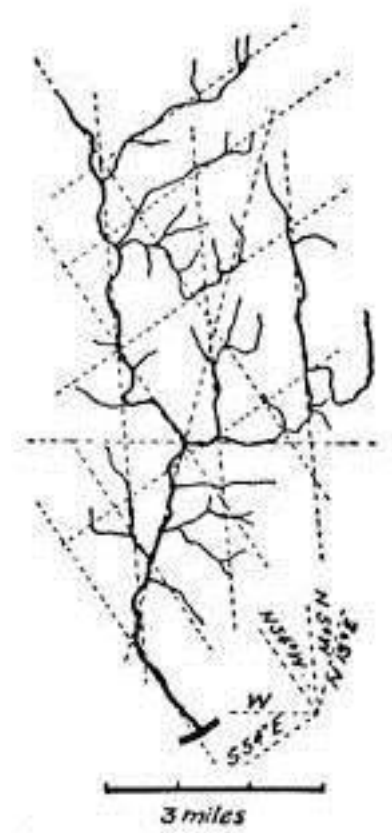


Рис. 242. Контролируемая дренажная сеть реки Шепог в Коннектикуте.

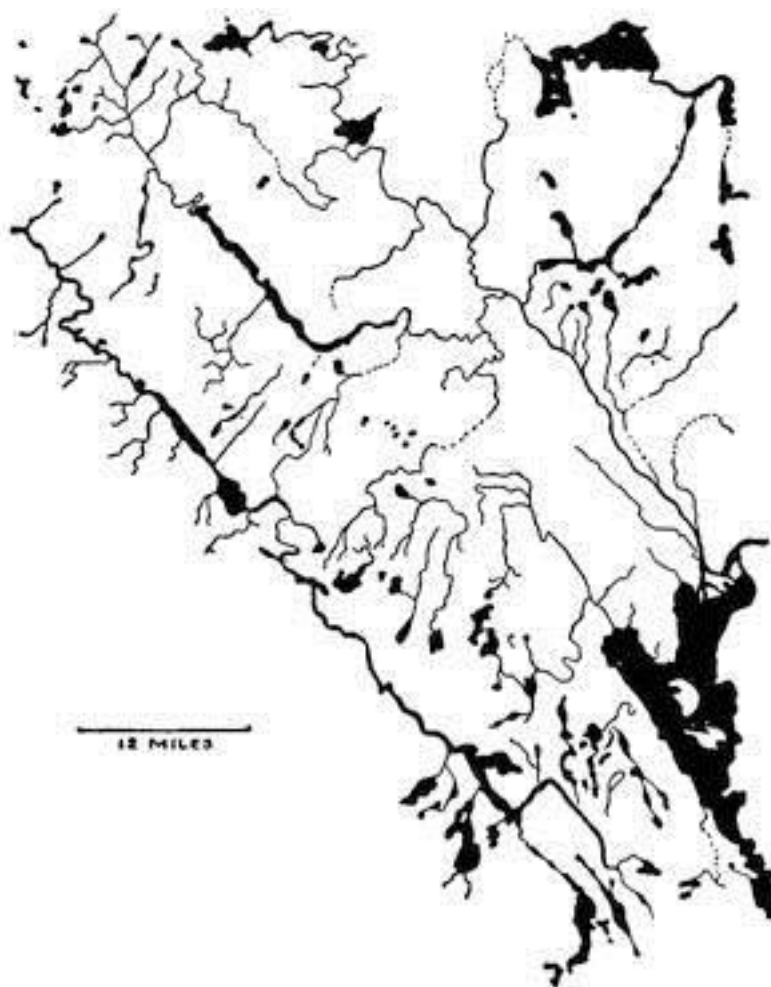


Рис. 243.— Речная сеть повторяющегося прямоугольного рисунка. Недалеко от озера Темискаминг, Онтарио (на карте правительства Доминиона).

Разделительные линии рельефных узоров —линеаменты.Повторяющийся рисунок, очерченный в речной сети района Темискаминг (рис. 243), выглядел бы более совершенным, если бы мы могли воспроизвести рельеф, не затеняя в то же время линии дренажа; поскольку там, где рисунок не полностью перекрыт течением ручья, обычно встречается либо сухая долина, либо овраг для завершения рисунка. Если таковых нет, участок прямой береговой линии, видимая линия разлома, зона разломной брекчии или линия границы, разделяющая различные формации, могут, одна или несколько из них, заполнить промежутки параллельных прямых линий дренажа, которые своим пересечением подчеркивают рисунок. Эти значительные линии ландшафта, которые раскрывают скрытую архитектуру скального основания, описаны как *линеаменты* (рис. 82, стр. 87). Это черты характера земной физиономии.

Важно подчеркнуть, по сути, сложное выражение линеамента. В одном месте это выглядит как линия дренажа, чуть дальше это может быть линия побережья; затем, опять же, это серия выровненных водопадов, видимый след разлома или прямолинейная граница между формациями; но в каждом случае это какое-то поверхностное выражение скрытого разлома. Какими бы скрытыми они ни были, линии разломов должны быть обнаружены всеми имеющимися в нашем распоряжении средствами, если мы не хотим впасть в заблуждение относительно положения и положения нарушенных горных массивов.

Как мы узнали, во время землетрясений, как ни в какое другое время, поверхность земли становится настолько чувствительной, что выдает положение ее скрытых разломов. Являясь границами орографических блоков, некоторые из разломов в такое время являются очагами особенно сильных колебаний; они представляют собой сейсмотектонические линии провинции землетрясений. Многие линии идентичны сейсмотектоническим линиям, и поэтому они позволяют в некоторой степени заранее определить линии наибольшей опасности от землетрясения.

Сложные повторяющиеся паттерны высших порядков.— Не только более крупные соединительные блоки отпечатываются на рельефе земли как повторяющиеся узоры подгузников, но и все более крупные составные блоки того же типа могут быть обнаружены в благоприятных районах с одинаковыми признаками. Внимание уже неоднократно обращалось на тот факт, что более совершенные и выступающие плоскости переломов повторяются среди суставов любой серии с более или менее регулярными интервалами (рис. 40, стр. 57, и рис. 41, стр. 58). Пожалуй, нигде этот большой порядок повторяющегося рисунка не проиллюстрирован с таким совершенством, как в некоторых недавних отложениях в Сирийской пустыне (фото 10b). Однако обычно такие структуры можно распознать в более древних отложениях; как, например, в прямоугольных башнях и контрфорсах тирольских доломитов (рис. 244). Здесь более крупные блоки появляются в мощно залегающей нижней формации, доломите, разделенном на подчиненные участки больших размеров; но в вышележащих формациях - в блоках относительно небольшого размера, но с таким же идеальным равным расстоянием между ними.

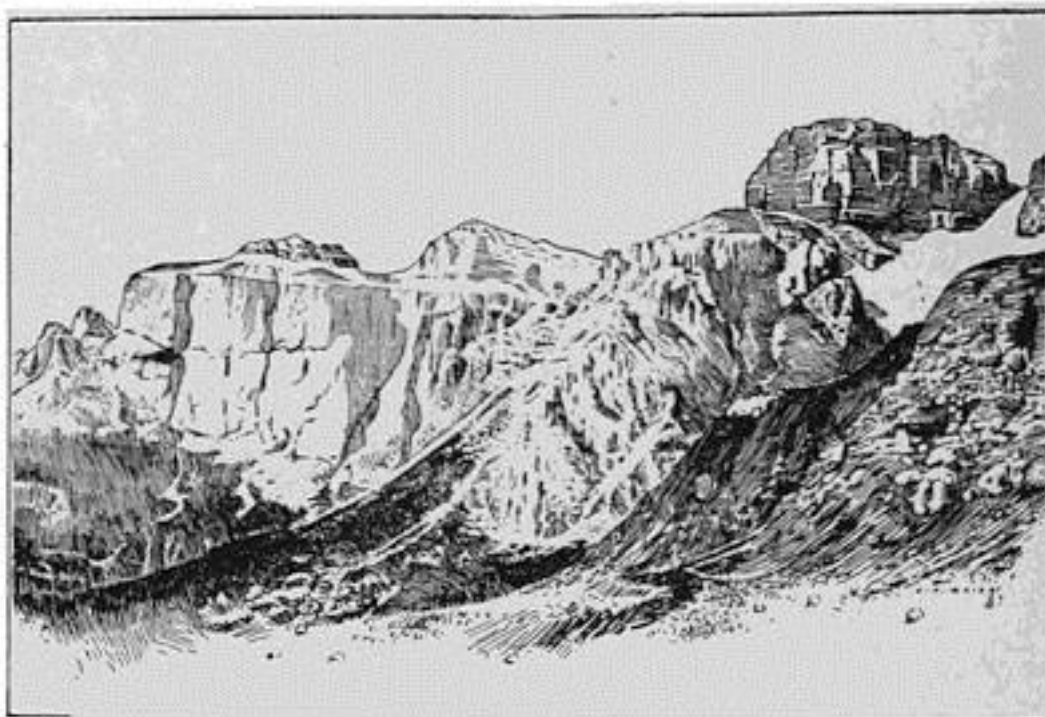
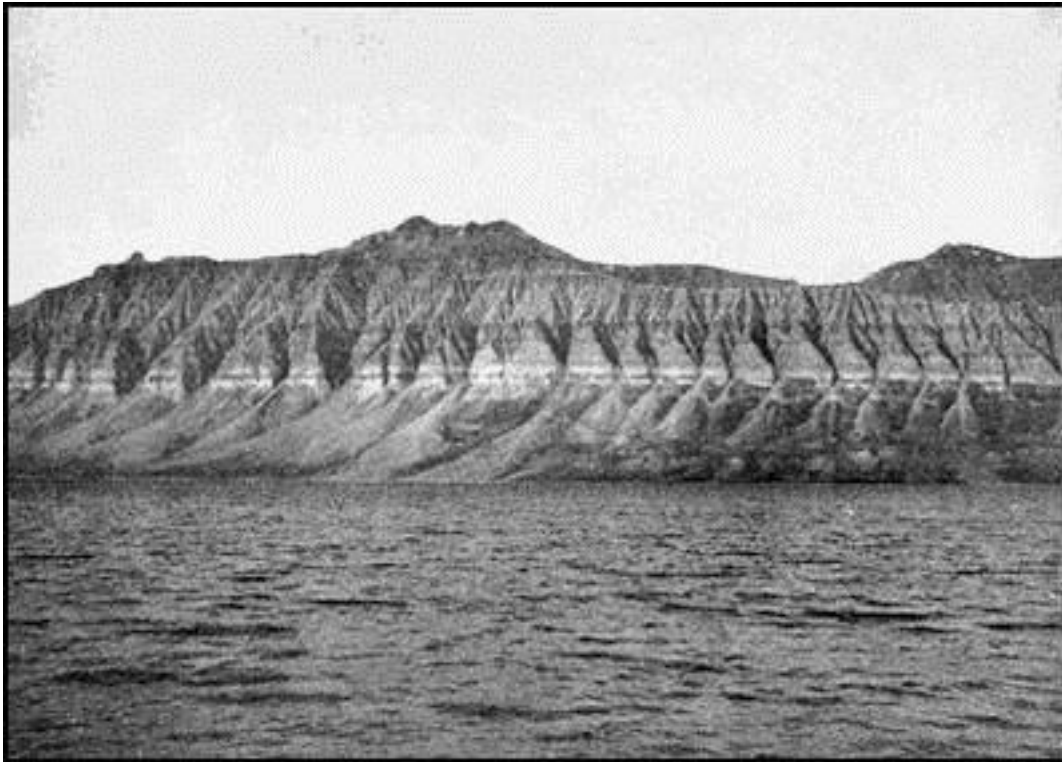


Рис. 244. — Квадратные горные массивы, которые показывают распределение соединений в виде блоков разного порядка величины. Хребет Пордои группы Селла Доломитовых Альп, видимый с Чима-ди-Росси (после Мойшисовича).

Наблюдательный путешественник, которому выпала честь совершить путешествие на пароходе, курсирующем между многочисленными островами и шхерами норвежского побережья, вряд ли будет поражен замечательными очертаниями большинства нижних островов (рис. 245). Эти профили, как правило, имеют выпуклую форму с примечательной

регулярностью, и не только в одном блоке, но по крайней мере в двух, причем один кратен другому (рис. 246). Когда пароход проходит рядом с островами, обнаруживается, что более мелкие узнаваемые элементы в профилях островов разделены широко зияющими стыками, которые, однако, принадлежат не к серии элементов, а к более крупной составной группе (рис. 246 b). Морозостойкость, действие которой зависит от открытых пространств внутри горных пород, здесь стала причиной чрезмерного выветривания над более широко зияющими швами.

Табличка 10.



А. Вид на Шпицберген, иллюстрирующий разрушение породы под контролем швов.
(Фотография О. Халдина.)



Б. Сложный рисунок совместных структур в пределах недавних аллювиальных отложений.
(Фотография Элсворта Хантингтона.)



Рис. 245. Группы островов Лофотенского архипелага у северо—западного побережья Норвегии, на которых рельеф повторяется на два порядка (по фотографии Кнудсена).

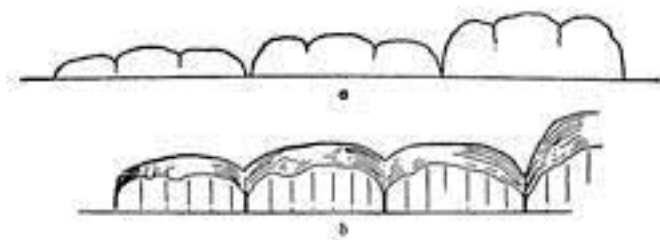


Рис. 246. Диаграммы, иллюстрирующие составные профили островов на норвежском побережье. *a*, вид издалека; *b*, вид вблизи, показаны отдельные стыки и более широко зияющие разломы под каждым прогибом профиля.

Таким образом, высокие северные широты особенно благоприятны для выявления всех деталей архитектурного рисунка литосферной оболочки, и нам не нужно удивляться тому, что при изучении современных карт норвежского побережья обнаруживаются еще более крупные повторяющиеся узоры, чем те, которые можно увидеть в полевых условиях. Давным-давно было показано, что норвежское побережье представляет собой регион со сложными разломами, и эти более крупные участки рельефа, вместо того чтобы объясняться исключительно следствием выборочного выветривания, следует рассматривать как результат смещений разломов того типа, который представлен в нашей модели (фото 4 С). Однако, будь то из-за смещений или из-за более многочисленных суставов, все они принадлежат к одной и той же сложной системе переломов, выраженных в рельефе.

Список литературы для чтения к главе XVII

Уильям Х. Хоббс. Речная система Коннектикута, журнал. Геол., т. 9, 1901, с. 469-485, стр. 1; Линеаменты Атлантического пограничного региона, Бюлл. Geol. Soc. Am., том 15, 1904, стр. 483-506, стр. 45-47; Корреляция систем трещин и свидетельств планетарных дислокаций в земной коре, пер. с англ. Ум. Акад. наук и др., т. 15, 1905, с. 15-29; Повторяющиеся узоры в рельефе и структуре местности, Бюлл. Геол. соц. Ам., том 22, 1911, стр. 123-176, стр. 7-13.

ГЛАВА XVIII

ФОРМЫ, ВЫРЕЗАННЫЕ И ОТЛИТЫЕ ВОЛНАМИ

Движение водной волны.—Движения внутри волны на поверхности водоема можно рассматривать двумя различными способами. Прежде всего, существует движение каждой частицы воды по своей собственной орбите; и, кроме того, существует поступательное движение распространения волны, рассматриваемой как единое целое.

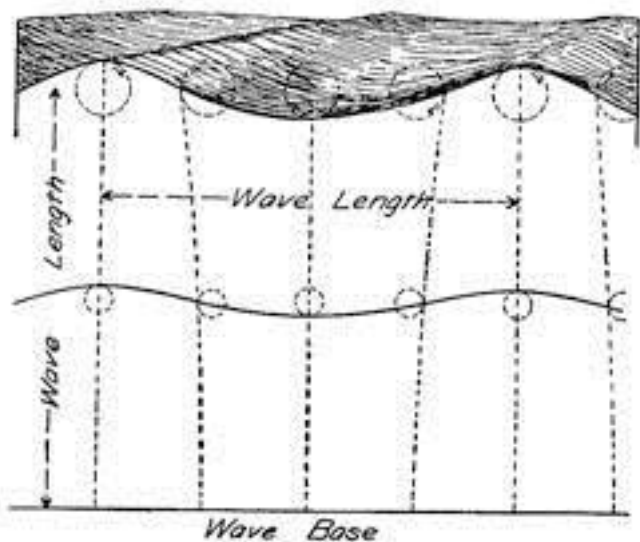


Рис. 247. Диаграмма, показывающая характер движений в свободной водной волне.

Частица воды в волне продолжает движение по своей орбите, подобно движению лошади по ипподрому, только здесь трасса проходит в вертикальной плоскости, направленной вдоль линии распространения волны (рис. 247). Каждая частица воды, благодаря своему трению о соседние частицы, способна передавать свое движение как вдоль поверхности, так и вниз, в воду внизу. Сила, которая приводит воду в движение и создает волну, представляет собой трение ветра, дующего над поверхностью воды, и размер орбиты частицы воды в любой точке пропорционален силе ветра и площади воды, над которой она пронеслась. Таким образом, воздействие ветра является кумулятивным — волна пропорциональна воздействию ветра на все частицы воды в ее задней части, добавленному к локальному ветровому трению.

Размер или *высота* волны измеряется диаметром орбиты движения поверхностной частицы, и это разница в высоте между впадиной и гребнем. Расстояние от гребня до гребня или от впадины до впадины называется *длиной волны*. Хотя волновое движение передается вниз, в воду происходит постоянная потеря энергии, которая здесь не компенсируется дополнительным трением ветра, и поэтому орбитальное движение становится все меньше и меньше, пока на глубине примерно в длину волны оно полностью не прекращается. Этот уровень отсутствия движения называется *базой волны*. В тихую погоду уровень неподвижности практически находится на поверхности воды, и поскольку геологическая работа волн в значительной степени осуществляется во время сильных штормов, термин “основание волны” относится к самому низкому уровню волнового движения во время самых сильных штормов. В океане самые высокие волны, которые были измерены, имеют амплитуду около пятидесяти футов и длину волны около шестисот футов.

Свободные волны и буруны.—Пока глубина воды ниже основания волны, очевидно, что нет возможности взаимодействия с волной из-за трения о дно. В этих условиях волны описываются как *свободные волны*, и их формы симметричны, за исключением того, что их гребни поднимаются и более или менее рассеиваются в брызгах “белых шапок” во время сильного ветра.

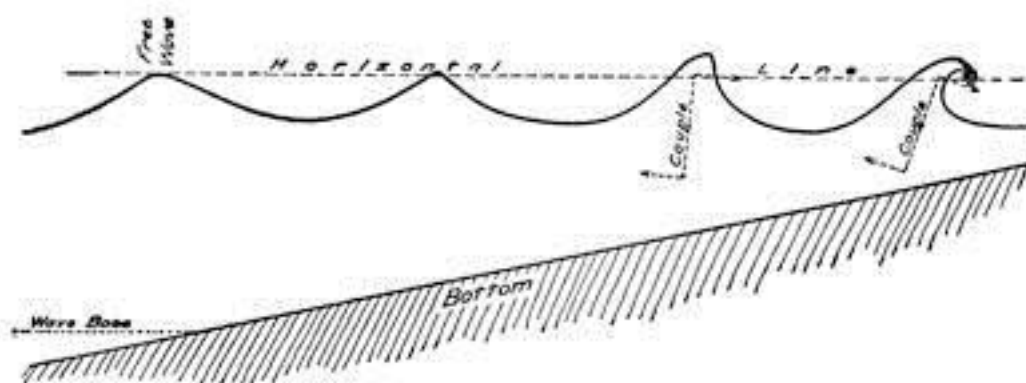


Рис. 248. Схема, иллюстрирующая превращение свободной волны в бурун по мере приближения к берегу.

Когда волна приближается к берегу, который обычно имеет пологий наклон наружу, на пути свободного поступательного движения возникает трение о дно. Это трение начинается, когда глубина воды меньше основания волны, и его эффект заключается в сдерживании волны у дна. Медленно поднимаемый вверх в воде за счет трения частицы о частицу, эффект этого сдерживания заключается в скоплении воды, что увеличивает высоту волны по мере уменьшения ее длины, а также нарушает симметрию волны (рис. 248). Продвигаясь вперед наверху под действием инерции движения и сдерживаясь внизу постоянно увеличивающимся трением, начинается сильное поворотное движение или пара вокруг горизонтальной оси, непосредственным результатом которого является увеличение прямого наклона волны, и это продолжается до тех пор, пока она не нависнет и, падая, “разбивается” о прибой. Такая разбивающаяся волна называется “гребнем” или “прерывателем” (фото 11b).

Табличка 11.



А. Следы ряби на древнем песчанике (любезно предоставлено Грантом США).



Б. Волна, разбивающаяся при приближении к берегу. (Фотография Фэрбенкса.)

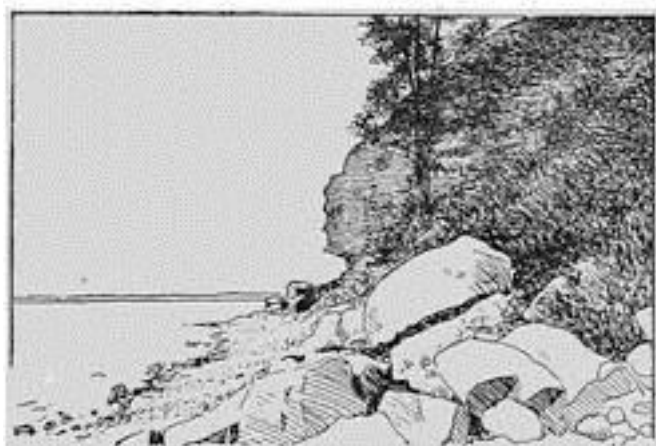


Рис. 249.— Зубчатый скальный утес, изрезанный волнами, и упавшие блоки, извлеченные из утеса в результате подкопа. Профиль скалы в Фарвеллс-Пойнт близ Мэдисона, Висконсин.

Эффект разбивающейся волны об крутой скалистый берег —зубчатый утес.—Если берег резко поднимается из более глубокой воды, вершина набегающей волны ударяется о скалу с силой тарана. Во время штормов вода прибрежных волн наполняется песком, и каждая песчинка приводится в движение, как инструмент камнереза, под ударами его молотка. Таким образом, эффект заключается как в отколе, так и в отбивании прибрежной скалы до высоты, достигнутой волной, подрывая ее и делая надрезы на скале у ее основания (рис. 249). Когда выемка проделана таким образом на достаточную глубину, нависающая скала падает под действием собственного веса блоками, которые ограничены постоянно присутствующими швами, оставляя верхнюю поверхность утеса практически вертикальной.



Рис. 250. — Расселина, образованная волнами, находящаяся под контролем джойнтс, побережье штата Мэн (после Тарра).

Бухты, морские арки и скалы.— Это мыс, который наиболее подвержен воздействию волн, поскольку при изменении направления ветра он обнажается более чем с одной стороны. Изучение мысов, изрезанных волнами, показывает, что стыки внутри скалы играют большую роль в формировании береговых особенностей. Набег волн под действием этих плоскостей готового разделения открывает углубления на берегу (рис. 250) или образует *морские пещеры*, которые, расширяясь до вершины утеса в процессе осушения, образуют *бухты*, которые так часто встречаются на наших скалистых берегах (рис. 259, стр. 238). При продолжении этого процесса пещеры, образовавшиеся на противоположных сторонах мыса, могут быть объединены в *морскую арку* (рис. 251).



Рис. 251. Морская арка, известная как Великая арка, на одном из островов Апостол в озере Верхнее (по фотографии Детройтской фотографической компании).

Более поздняя стадия этой выборочной волновой обработки под контролем швов достигается, когда мост над аркой обрушивается, оставляя отдельно стоящий скальный

остров с отвесными стенами. Такой прибрежный скальный остров с обрывистыми склонами известен как *дымовая труба* (рис. 252), или иногда как “дымовая труба”, хотя этот последний термин лучше всего ограничить другими и подобными формами, которые являются продуктом избирательного выветривания (стр. 300).



Рис. 252. Штабель у берега озера Верхнее.

Всякий раз, когда порода менее прочно закреплена и поэтому не стоит на таких крутых плоскостях, нагромождение склонно иметь более коническую форму, и его формированию может не предшествовать развитие морского свода (рис. 260, стр. 239). В обратном случае, или когда порода обладает необычной прочностью, штабель может быть в значительной степени подорван и стоять подобно столу на толстых ножках или каменных столбах (рис. 253). На рис. 254 показана группа штабелей на побережье Калифорнии, которые ясно демонстрируют контроль за формированием швов, но, в отличие от мрамора южноамериканских образцов, формы не округлены, а сохраняют свои острые углы.



Рис. 253.— Мраморные острова в озере Буэнос-Айрес, южные Анды (в честь Ф. П. Морено).

Срезанная скальная терраса.—Когда волны впервые начинают набегать на крутой скалистый берег, нижний предел воздействия находится у основания волны. Действие на этой глубине, однако, менее эффективно, и поскольку спад скалы является одним из самых быстрых эрозионных процессов, скальное дно за пределами отступающего утеса постепенно переходит в откос вниз от утеса до максимальной глубины у края террасы, примерно равной основанию волны (рис. 255). Эта срезанная терраса вытянута в сторону моря или озера, в зависимости от обстоятельств, на *построенной террасе*, построенной из части скальных обломков, добытых со скалы.

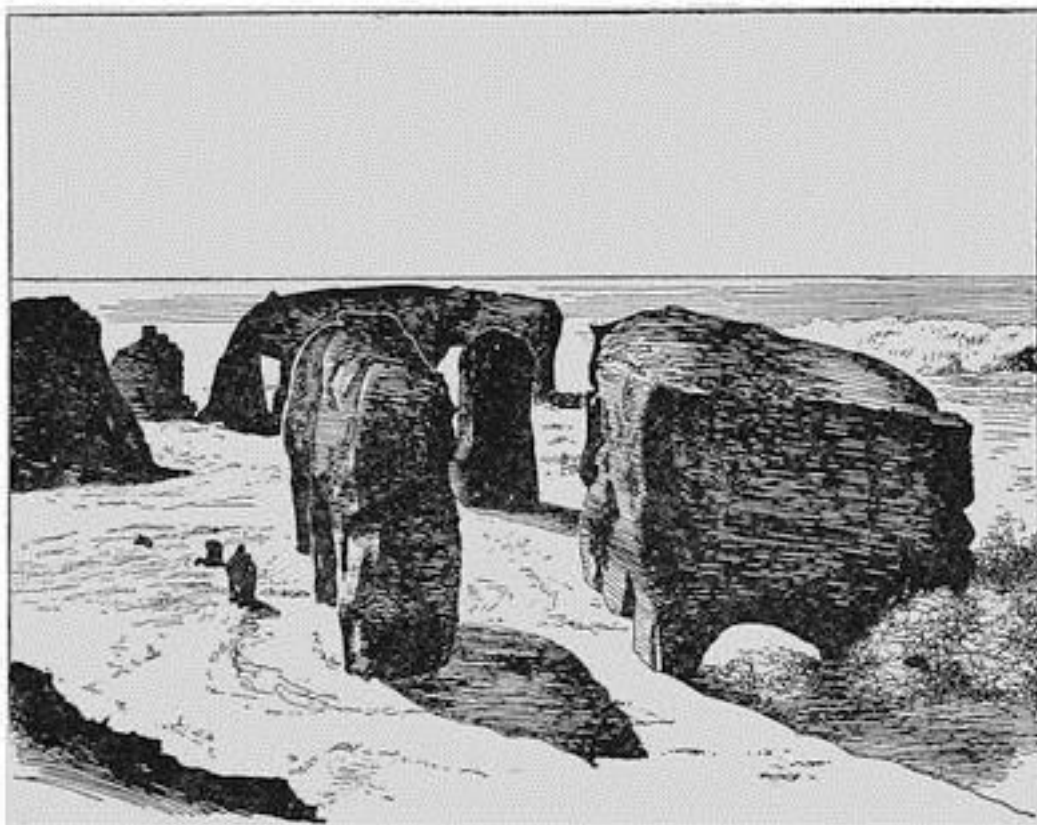


Рис. 254.—Квадратные стопки, которые показывают положение плоскостей соединения, которые были отрегулированы в процессе вырезания волнами. Pt. Бухон, Калифорния (по фотографии Фэрбенкса).

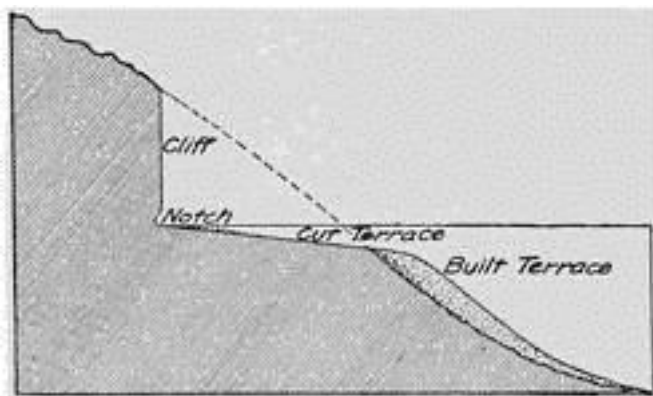


Рис. 255. Идеальный участок крутого скалистого берега, вырезанный волнами в виде зубчатого утеса и срезанной террасы и расширенный за счет застроенной террасы.

Разбитая волна, поднявшись на террасу под действием инерции своего движения до тех пор, пока вся ее энергия не будет рассеяна, соскальзывает наружу под действием силы тяжести, и хотя ее останавливают и преодолевают последующие буруны, она продолжает свое соскальзывание наружу в качестве “отката”, пока не достигнет конца террасы. Здесь он внезапно входит в глубокую воду и, теряя скорость, сбрасывает свой каменный груз и строит террасу, обращенную к морю, наподобие насыпи. Как мы увидим, большая часть материала, добытого волной, отводится в другой квартал.

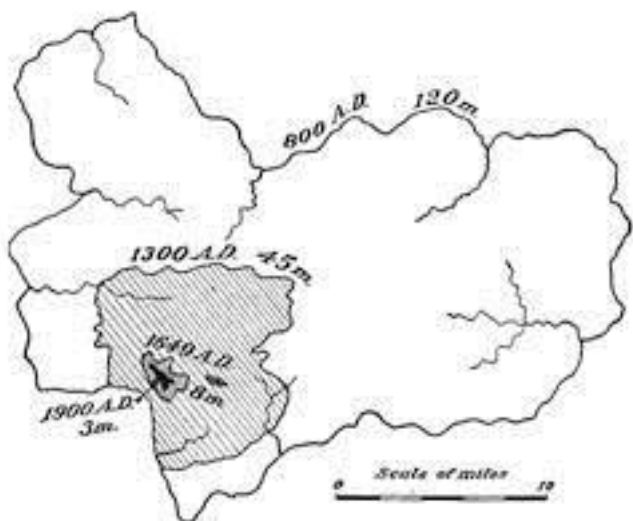


Рис. 256. — Карта, показывающая очертания острова Гельголанд на разных этапах его новейшей истории. Указанные расстояния указаны в милях.

Чтобы получить некоторое представление о важности волнового среза как процесса эрозии, мы можем рассмотреть позднюю историю Гельголанда, острова из песчаника недалеко от устья Эльбы в Северном море (рис. 256). С периферии в 120 миль, которой он обладал в девятом веке христианской эры, остров сократил свои очертания до 45 миль в четырнадцатом веке, 8 миль в семнадцатом и примерно до 3 миль в начале двадцатого века. Правительство Германии, которое недавно приобрело этот небольшой реликварий у Англии, потратило большие суммы денег в попытке спасти эту последнюю реликвию.

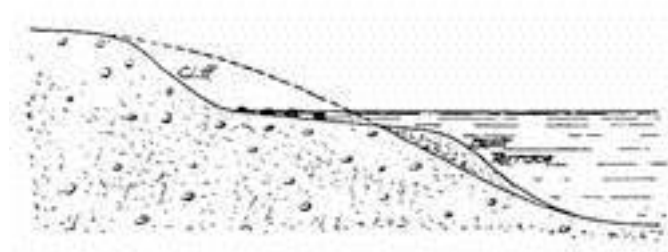


Рис. 257.— Вырубленная и построенная терраса с ковшовым покрытием, сформированным волнами на крутом берегу из сыпучих материалов.

Вырубленная и сооруженная терраса на крутом берегу из сыпучих материалов.—В материалах, которым не хватает сцепления с твердой породой, не может образоваться вертикальный утес; поскольку по мере того, как волны подтачивают рыхлые материалы, они соскальзывают вниз и приобретают поверхность с практически постоянным уклоном — “углом покоя” материалов (рис. 257). Терраса под этим покатым утесом не будет отличаться по форме от той, что вырублена на скалистом берегу; но всякий раз, когда материалы берега включают разбросанные блоки, слишком большие, чтобы волны могли их унести, они скапливаются на террасе рядом с местом их эксгумации, образуя так называемое “покрытие из валунов” (рис. 258).

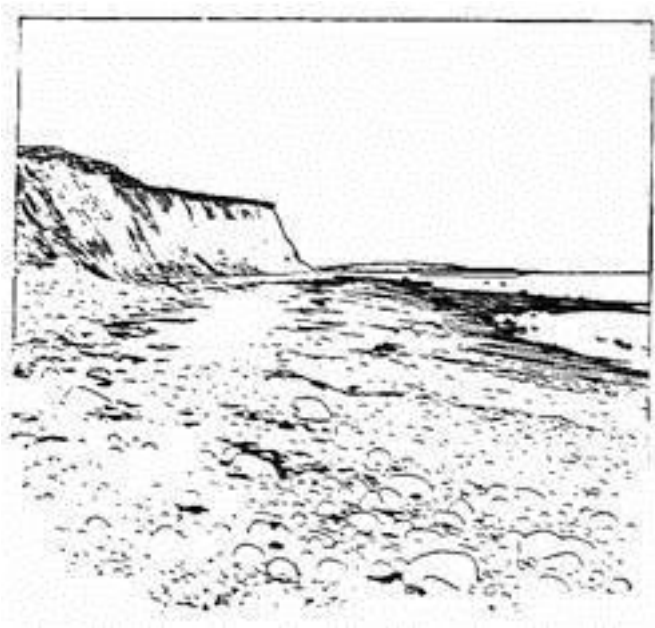


Рис. 258. Пологий утес и терраса с ковшовым покрытием, обнажающиеся во время отлива на берегу в Скитуате, Массачусетс.

Край срезанной и построенной террасы, как уже упоминалось, поддерживается на глубине основания волны. Если изучить подводные контуры любого из наших внутренних озер, то окажется, что эти котловины окружены пологим краевым шельфом - вырубленной и застроенной террасой, - и что глубина этого шельфа у его внешнего края пропорциональна размеру озера. На озере Мендота в Мэдисоне, штат Висконсин, большие штормовые волны имеют длину около двадцати футов, что соответствует глубине внешнего края береговых террас ([рис. 267](#), [стр. 242](#)). Шельф, окружающий континенты, имеет, за немногими местными исключениями, одинаковую глубину в 100 морских саженей, или около основания самых сильных штормовых волн.

Работа берегового течения.—При описании формирования застроенной террасы было указано, что большая часть горного материала, вынесенного волнами на мысы, унесена с прибрежной террасы. Это отклонение является работой берегового течения, создаваемого волной.

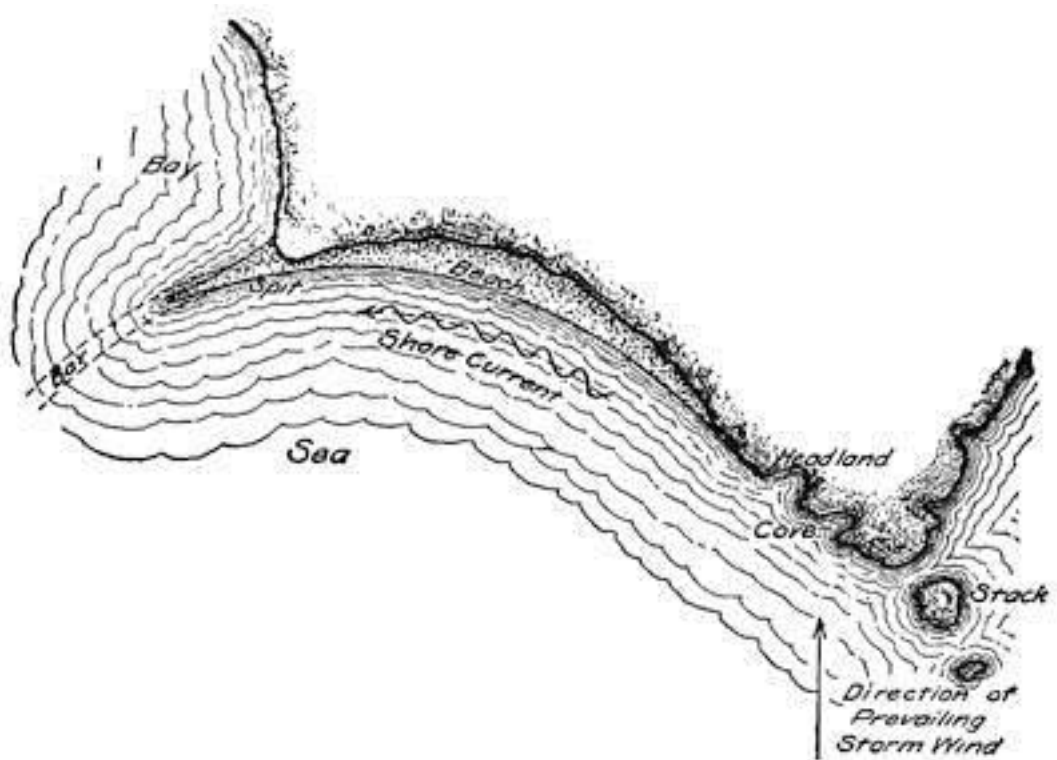


Рис. 259. Карта, показывающая характер берегового течения и формы, которые оно формирует.

Лишь в немногих местах на берегу штормовые волны будут биться перпендикулярно, и то лишь на короткие промежутки времени. Разбитая волна, все медленнее набегая на пляж, уносит с собой песок по широкой кривой, и к тому времени, когда сила тяжести останавливает ее поступательное движение, на короткое мгновение она направляется параллельно берегу. Вскоре, однако, сила тяжести, действующая на него, начинает обратный путь по более прямому направлению вниз по склону террасы; и здесь, встречаясь со следующим за ним буруном, часть воды и более крупные частицы песка вместе с ней снова переносятся вперед для повторения зигзагообразного движения. Это многократно прерывающееся движение частиц песка можно наблюдать во время сильного ветра на любом песчаном подветренном берегу. “Стояние” воды вдоль берега в результате ее зигзагообразного перемещения описывается как *береговое течение* (рис. 259), и влияние на распределение песка такое же, как если бы постоянное течение двигалось параллельно берегу в направлении средней тенденции движения частиц.

Песчаный пляж.—Первое воздействие берегового течения заключается в отложении некоторой части песка в первом небольшом углублении на берегу с подветренной стороны утеса. Более ранние отложения вблизи утеса постепенно отесняют береговое течение все дальше от берега и, таким образом, насыпают песчаную полосу к берегу, которая имеет форму дуги или полумесяца и известна как *пляж* (рис. 259 и рис. 260).

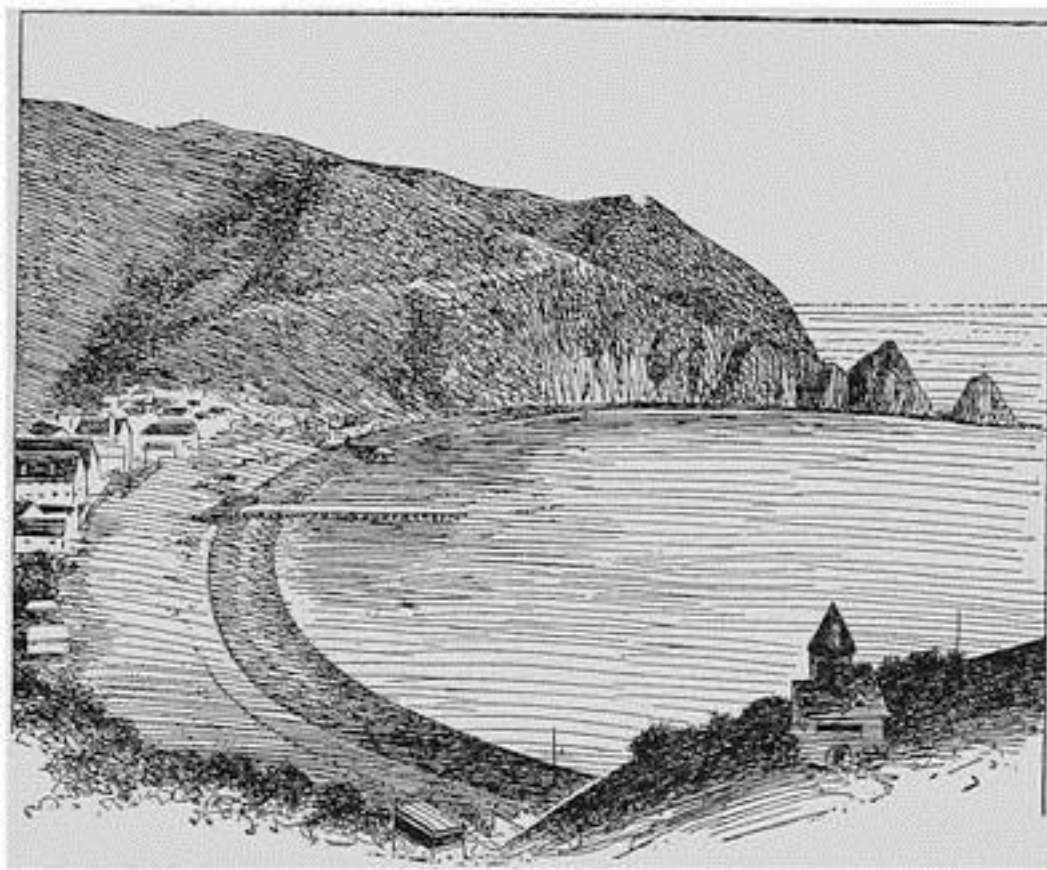


Рис. 260. пляж в форме полумесяца, образовавшийся с подветренной стороны мыса. Остров Санта-Каталина, Калифорния (по фотографии Фэрбенкса).



Рис. 261. Поперечное сечение пляжной гальки.

Галечный пляж.—При сильных штормах и исключительном размахе волн береговые течения способны перемещать не только песок, но и гальку, площадь более широкой поверхности которой может достигать ладони человека. Такие фрагменты породы формируются в результате продолжающегося износа относительно своих соседей под неугомонными разрушителями, пока не приобретут линзовидную или часовую форму (рис. 261). Такая пляжная галька называется *галькой*, и обычно она образует на берегу отчетливые гребни, которые под яростью высоких бурунов могут скапливаться на несколько футов выше уровня спокойной воды (рис. 262). Такие штормовые пляжи имеют пологий наклон вперед, определяемый береговым течением, но крутой наклон назад по углу откоса. Большинство штормовых пляжей были в значительной степени сформированы последним сильным штормом, который бывает только с интервалом в несколько лет.

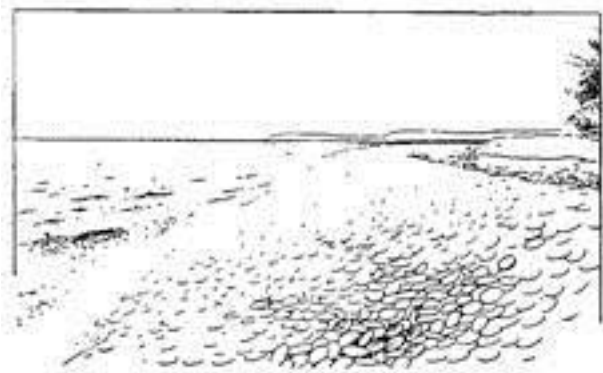


Рис. 262. Штормовой пляж из крупной гальки высотой около четырех футов у основания Бернт—Блафф на северо-восточном берегу Грин-Бэй, озеро Мичиган.

Перекладина, коса и барьер.—Везде, где берег, на котором строится пляж, делает внезапный поворот к берегу при входе в бухту, береговые течения в силу своей инерции движения не могут больше следовать за берегом. Обломки, которые они несут, таким образом, переносятся в более глубокие воды в направлении, соответствующем продолжению берега непосредственно перед точкой поворота (см. [Рис. 259, стр. 238](#)). В результате образуется *полоса*, которая поднимается почти у поверхности воды и продолжается поперек входа в бухту за счет непрерывного роста на ее конце, подобно строительству железнодорожной насыпи поперек долины.



Рис. 263. Галечная коса на острове О—Трейн, озеро Верхнее (в честь Гилберта).

На более глубоких участках воды вблизи отмели волны поначалу обычно не останавливаются и не разбиваются, как у берега, и поэтому отмель не сразу поднимается на поверхность, а остается невидимой преградой для навигации. Однако со стороны берега волны даже при умеренных штормах разбиваются, и там отмель возвышается над поверхностью воды, где она выглядит как узкий мыс из песка или гальки, который постепенно утончается по мере приближения к своей вершине. Этой особенностью является хорошо известная коса ([рис. 263](#)), которая по мере разрастания поперек входа в бухту становится *барьером* или *барьерным пляжем* ([рис. 264](#)).

Продолжение видимого в обычно невидимой полосе во время сильных ветров становится поразительно очевидным, поскольку основание волны находится ниже гребня полосы, и в такие моменты за ее серповидным течением за косой можно проследить взглядом по белой дуге разбитой воды.

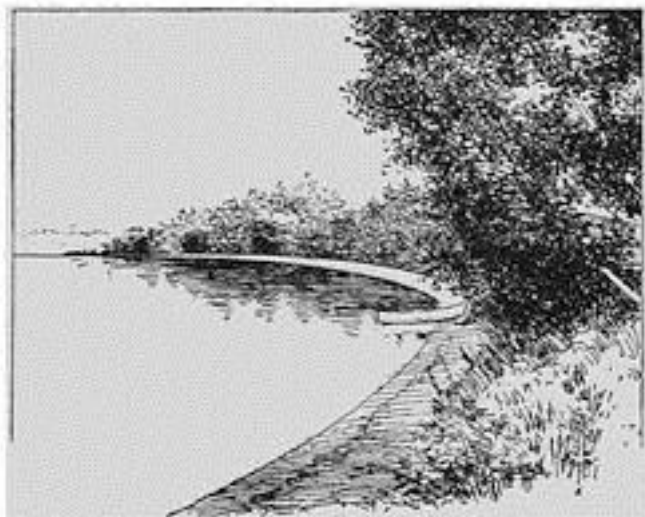


Рис. 264. Барьерный пляж перед лагуной на озере Мендота в Мэдисоне, штат Висконсин. Неглубокая лагуна за барьером заполняется и в значительной степени скрыта растительностью.

Сооружение барьера поперек входа в бухту превращает последнюю в отдельный водоем, лагуну, внутри которой заиливание и торфообразование обычно приводят к раннему вымиранию (с. 429). Таким образом, образование барьеров имеет тенденцию сглаживать неровности береговой линии и открывает путь к естественному увеличению площадей суши. В то время как побережье Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии теряет около четырех тысяч акров земли из-за волновой эрозии, в тихих лагунах наблюдается прирост, который составляет почти в семь раз больше. Свидетельством выпрямления береговой линии в результате этого процесса может служить побережье Каролинских островов или Нантакета (рис. 459).

Привязанный к суше остров.— Мы видели, что волновая эрозия приводит к отделению небольших островов от мысов, но береговые течения противодействуют этой потере материков, разрушая барьеры, которые соединяют многие разделенные острова с материком. Такие привязанные к суше острова являются обычным явлением на многих скалистых побережьях, и на побережье Новой Англии им обычно присваивают название “нек”. Длинная дуга Линн-Бич соединяет бывший остров Нахант через его меньший сосед Литтл-Нахант с побережьем Массачусетса. Похожий остров, связанный с сушей, - Марблхед-Нек. Гибралтарская скала, бывшая островом, теперь соединена с Испанией низким пляжем, известным как “нейтральная территория”. Испанское название, *томбола*, иногда использовалось для описания острова, таким образом соединенного с берегом.

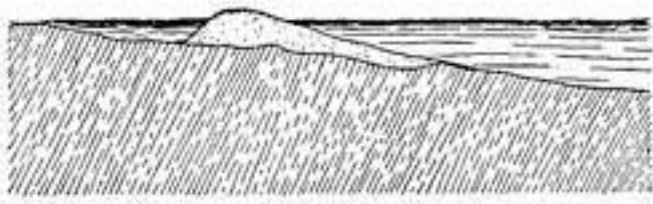


Рис. 265. Поперечный разрез барьерного пляжа с лагуной в задней части.

Серия барьеров. Поперечное сечение барьерного пляжа, как и у штормового пляжа на берегу, имеет плавный наклон с передней стороны и более крутой под углом покоя к задней или обращенной к суше кромке (рис. 265). Утончающийся клин береговых отложений, который барьер выбрасывает в сторону моря, повышает уровень дна озера (рис. 266), и когда неровности берега благоприятствуют этому, на берегу образуются новые косы за пределами предыдущей, и новая отмель, и, в свою очередь, барьер, будут обнаружены за пределами первоначальной, следуя курсом в направлении, более или менее параллельном ей (рис. 267).

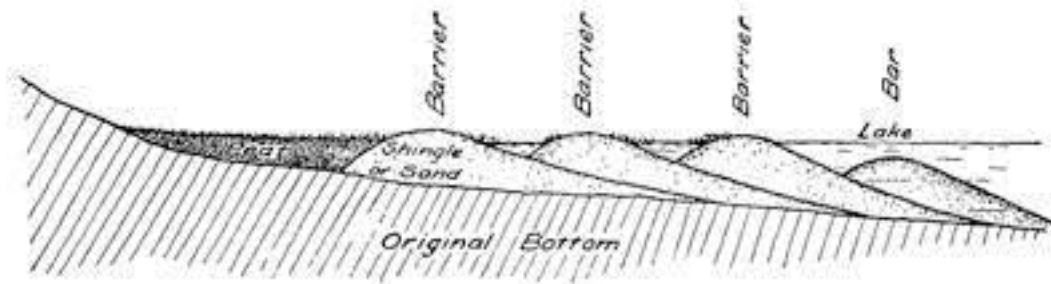


Рис. 266. Поперечное сечение ряда барьеров и внешнего стержня.

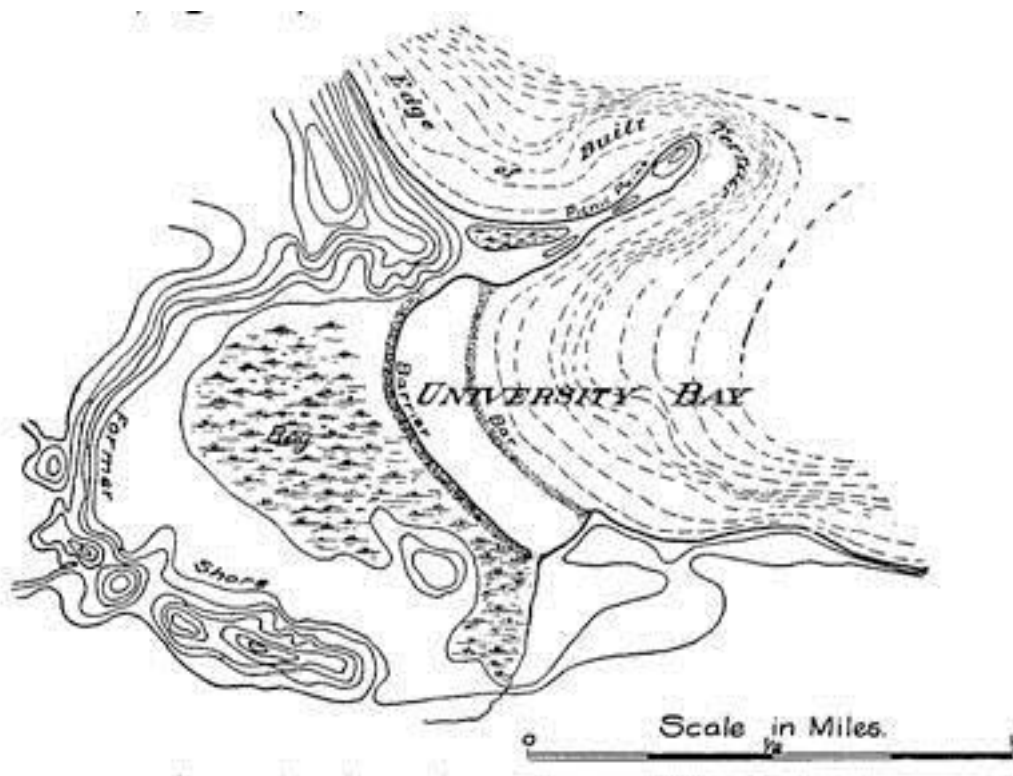


Рис. 267.— Формирование барьерного ряда и внешнего заграждения в Университетском заливе озера Мендота, в Мэдисоне, штат Висконсин. Интервал между контурами воды составляет пять футов, а между контурами суши - десять футов (на основе карты Геологической службы Висконсина).



Рис. 268. Серия барьеров на западной оконечности озера Верхнее (после Гилберта).

Как только образуется первый барьер, запускаются процессы, которые имеют тенденцию превращать новообразованную лагуну в сушу, и поэтому с рядом барьеров зона водяных лилий между внешним барьером и отмелью, болото и наземная платформа могут представлять собой последовательные этапы этого приобретения территории землями. Примечательный пример серии барьеров и расширения территории за ними представляет залив на западной оконечности озера Верхнее (рис. 268).

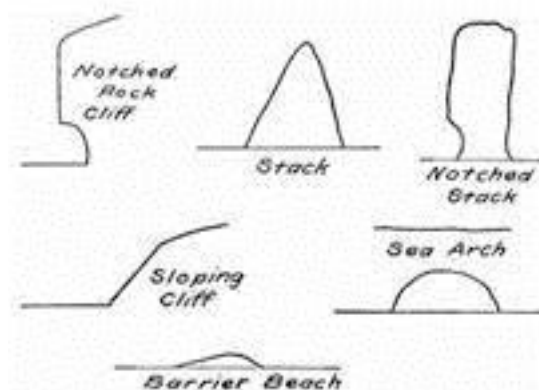


Рис. 269. Профили характера, возникающие в результате воздействия волн на берега.

Профили персонажей.—Профили характера, полученные в результате работы волн, легко распознать (рис. 269). Вертикальный утес с выемкой у основания варьируется в зависимости от формы сахарного рулета, вырезанного в более мягких породах, или более крутой формы, вырезанной из более твердых пород. Морские пещеры и морские арки создают вариации изгиба, характерного для подрезанных форм. Везде, где материалы берега только слабо уплотнены, наклонный утес формируется под углом наклона материалов. Барьерный пляж, хотя и выступает на небольшое расстояние над волнами, имеет несимметричную кривую поперечного сечения с более крутым наклоном к суше.

Список литературы для чтения главы XVIII

Г. К. Гилберт. Топографические особенности озерных берегов, 5-я энн. Rept. U. S. Geol. Обзор, 1885, стр. 69-123, стр. 3-20; Озеро Бонневиль, понедельник. I, Геол. США. Обзор, 1890, Главы ii-iv, стр. 23-187.

Вон Корниш. На морских пляжах и песчаных отмелях, География. Jour., vol. 11, 1898, pp. 528-543, 628-658.

Ф. П. Гулливер. Топография береговой линии, проф. А. М. Акад. Искусство и наука., том 34, 1899, стр. 149-258.

Н. С. Шалер. Геологическая история Гаваней, 13-я энн. Репт. Геол. США. Обзор, 1893, с. 93-209.

Сэр А. Гейки. Пейзажи Шотландии, 1901, стр. 46-89.

У. Х. Уилер. Морское побережье. Лонгманс, Лондон, 1902, стр. 1-78.

G. W. von Zahn. Die zerstörende Arbeit des Meeres an Steilküsten nach Beobachtungen in der Bretagne und Normandie in den Jahren 1907 und 1908, Mitt. d. Geogr. Ges. Hamb., том 24, 1910, стр. 193-284, стр. 12-27.

ГЛАВА XIX

БЕРЕГОВЫЕ ЗАПИСИ О ПОДЪЕМЕ Или ОПУСКАНИИ СУШИ

Символы, в которых сохранилась запись.—Особые формы, в которые море придало форму своим берегам, были рассмотрены в предыдущей главе. Из них наиболее значимыми являются зубчатый скальный утес, вырубленная скальная терраса, морская пещера, морская арка, штабель и наклонный утес и терраса среди резных элементов; и барьерный пляж и построенная терраса среди отлитых в форму форм. Важно помнить, что отлитые формы по самому способу их формирования находятся в определенной взаимосвязи с вырезанными элементами; так что, когда какой-либо из них частично стерт и его трудно определить, обнаружение другого в его правильном естественном положении может устранить все сомнения относительно происхождения реликвии.



Рис. 270. Восточное побережье Флориды с береговой линией, характерной для возвышенного побережья.

При изучении изменения уровня суши все колебания принято относить к уровню моря в качестве нулевой плоскости отсчета. По этой причине нет необходимости предполагать, что изменения, измеряемые с этой произвольной базовой плоскости, представляют собой абсолютные колебания вверх или вниз, которые можно было бы измерить с центра земли; ибо море, как и суша, подвержено изменениям своего уровня. Однако нет необходимости извиняться за использование поверхности моря в качестве плоскости отсчета; ибо это все, что у нас есть в распоряжении для этой цели, и изменения уровня, пусть даже только относительные, имеют величайшее значение. Вероятно, что в большинстве случаев, когда береговая линия поднимается в результате поднятия, какая-то часть морского бассейна неподалеку становится углубленной, так что видимое изменение уровня является алгебраической суммой двух эффектов.

Ровная береговая линия - отметка подъема. Ранее в этом томе указывалось (стр. 158), что морское дно по соседству с сушей представляет собой относительно ровную поверхность. Волнообразная резьба в сочетании с процессом осаднения отложений имеет тенденцию заполнять незначительные неровности поверхности и сохранять только особенности более крупного масштаба, да и те в значительно смягченных очертаниях. На континентах, напротив, текущая вода, используя в своих интересах малейшую разницу в высоте и выискивая скрытые структурные плоскости в скале, вскоре вытравливает поверхность с самыми замысловатыми деталями. Следовательно, в результате подъема морского дна на дневной свет образуется ровная береговая линия, лишенная гаваней (рис. 270). Если берег

поднялся вдоль видимых плоскостей разломов вблизи кромки моря, береговая линия, помимо того, что она ровная, обычно будет состоять из заметно прямых элементов, соединенных друг с другом.



Рис. 271. Неровная береговая линия Аляски, эффект проседания.

Неровная береговая линия - признак оседания.—Когда на месте поднятия происходит оседание побережья, причудливо вытравленная поверхность, образовавшаяся в результате эрозии под небом, оказывается захваченной морем вдоль каждой впадины и борозды, так что в результате получается наиболее неровный контур (рис. 271). На таком побережье много гаваней, в то время как приподнятое побережье примечательно их отсутствием.

Медленное поднятие побережья —прибрежная равнина и куэста.Постепенное поднятие побережья проявляется в постепенном отступлении моря по части его дна, обнажая таким образом эту ровную поверхность недавних отложений. Бывший береговой участок будет легко узнаваем по его выгравированной поверхности, которая теперь будет резко контрастировать с новой равниной. Поэтому его называют *олдлендом*, а недавно обнажившуюся *прибрежную равнину* - *ньюлендом* (рис. 272).



Рис. 272. Часть Атлантической прибрежной равнины и прилегающая старая часть Аппалачей.

Но прибрежные отложения на морском дне имели первоначальный наклон в сторону моря, и этот наклон увеличился в процессе подъема. Ручьи со старой земли проложили себе путь через эти отложения, пока берег поднимался. Но поскольку процесс этот медленный, отложения образовались на обращенной к морю стороне равнины после того, как обращенная к суше часть была выше уровня прилива, и прибрежная равнина может приобрести “опоясанный” или зональный характер. Ручьи, впадающие в те более крупные, которые прорыли равнину, могут поочередно сталкиваться с более твердыми и более мягкими слоями отложений равнины, и у каждого твердого слоя они будут отклоняться вдоль своего края, чтобы впадать в основные потоки более близко под прямым углом. Они также со временем будут мигрировать в боковом направлении к морю за счет подрыва более твердых слоев и, таким образом, сформируют чередующиеся пояса низменностей, отделенных уступами в более твердых породах от остаточных более высоких склонов. Пояса возвышенностей такого характера на прибрежной равнине называются *куэстами* (рис. 273).



Рис. 273. Идеальная форма куэст и промежуточных низменностей, вырезанных из прибрежной равнины (после Дэвиса).

Внезапные возвышения берегов.—Возвышения побережья, образующие прибрежную равнину, должны быть отнесены к числу более медленных движений земли, приводящих к изменению уровня. Такие движения, вместо того чтобы сопровождаться катастрофическими землетрясениями, вероятно, были отмечены лишь частыми незначительными толчками, подземным грохотом, или, возможно, земля постепенно поднималась без каких-либо проявлений осязательного характера.

На тех побережьях, которые часто подвергаются сейсмическим возмущениям, наблюдается совершенно иной эффект. Здесь, в скалах, мы, вероятно, найдем следы недавних разломов с большими смещениями, и движения были такого масштаба, что береговые черты, мало измененные последующим выветриванием, находятся значительно выше нынешнего уровня морей. Таким образом, над такими берегами мы различаем характерные следы воздействия волн, и свидетельства того, что они были внезапно подняты, не вызывают сомнений.



Рис. 274. Приподнятая морская пещера на высоте десяти футов над водой у побережья Калифорнии; памятник бывшему землетрясению (по фотографии Фэрбенкса).

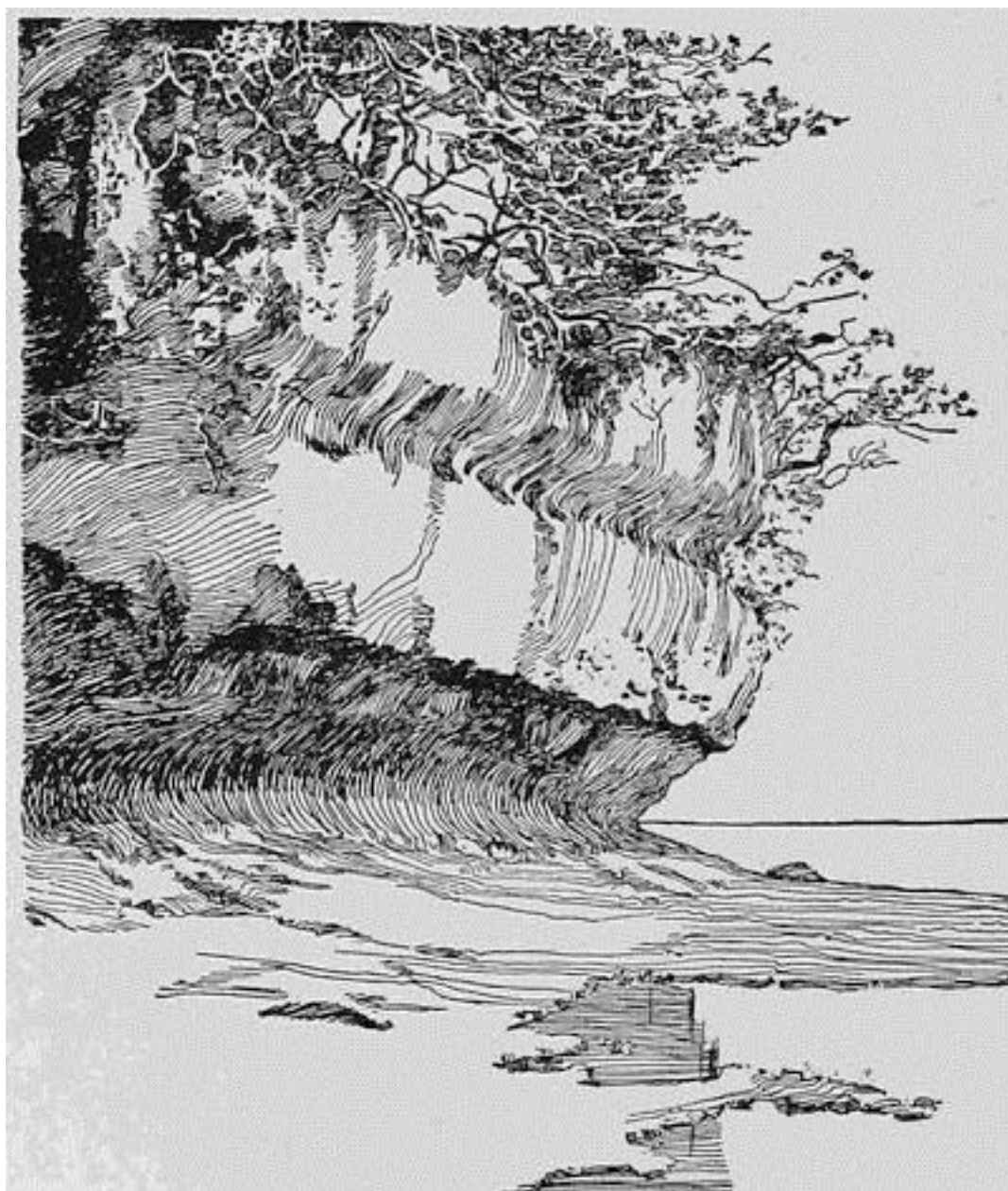


Рис. 275. — Утес с двойной насечкой близ мыса Тиро, Целебес (по фотографии Сарасина).

Вздымающийся утес.— На побережье южной Калифорнии можно найти все черты изрезанных волнами берегов, которые в настоящее время прекрасно сохранились, а в некоторых случаях находятся на высоте до полутора тысяч футов над уровнем моря. Эти объекты являются памятниками самого масштабного землетрясения, которое за последнее время посетило регион (рис. 274). Не менее ярким примером подобных движений являются зубчатые скалы из твердого известняка на берегу острова Целебес (рис. 275). Но побережье Калифорнии представляет собой другие характерные береговые черты в виде арки открытого моря и стека в качестве дополнительных памятников недавнему подъему. Давайте только представим, что нагромождения, которые сейчас образуют Тюленьи скалы у дома на утесе в Сан-Франциско, внезапно поднялись высоко над морем, и формы, которые они тогда имели бы, лишь немногим отличались бы от тех, что показаны на рис. 276.

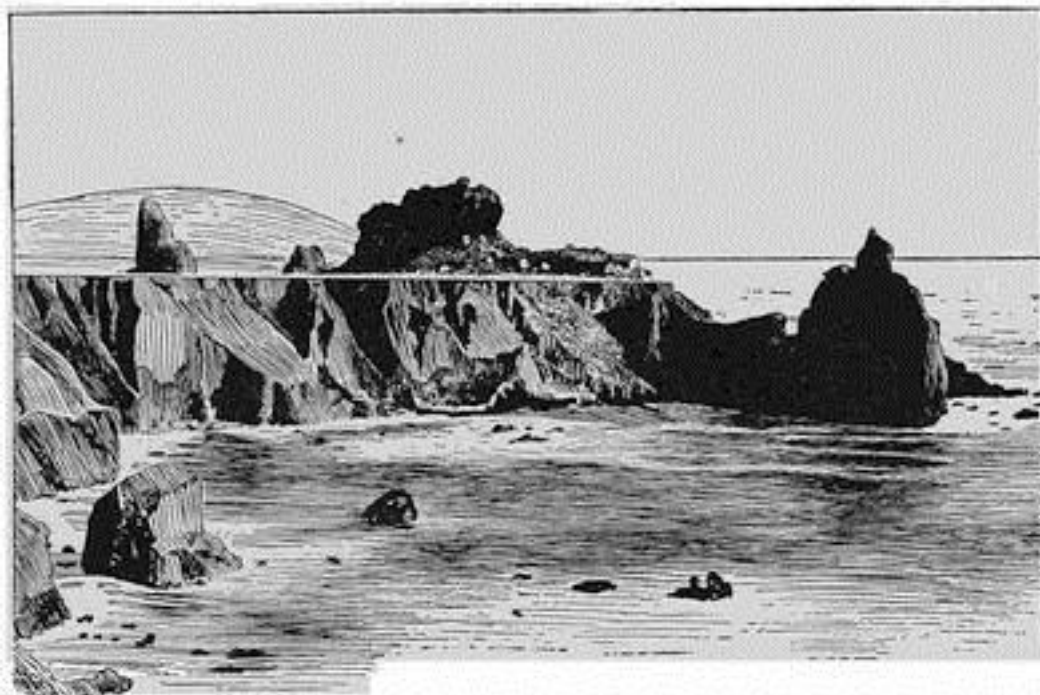


Рис. 276. — Нагромождения яшмовых пород на побережье Калифорнии (по фотографии Фэрбенкса).

Приподнятый барьерный пляж.—В пределах побережья изрезанный волнами утес, как мы знаем, заменяется барьерным пляжем, который проходит поперек входа в бухту. После подъема такой барьер, состоящий из песка или гальки, должен быть соединен с мысом, часто с частично заполненной лагуной за ним. Его поперечное сечение должно быть крутым в направлении лагуны, но довольно пологим спереди ([рис. 277](#)).

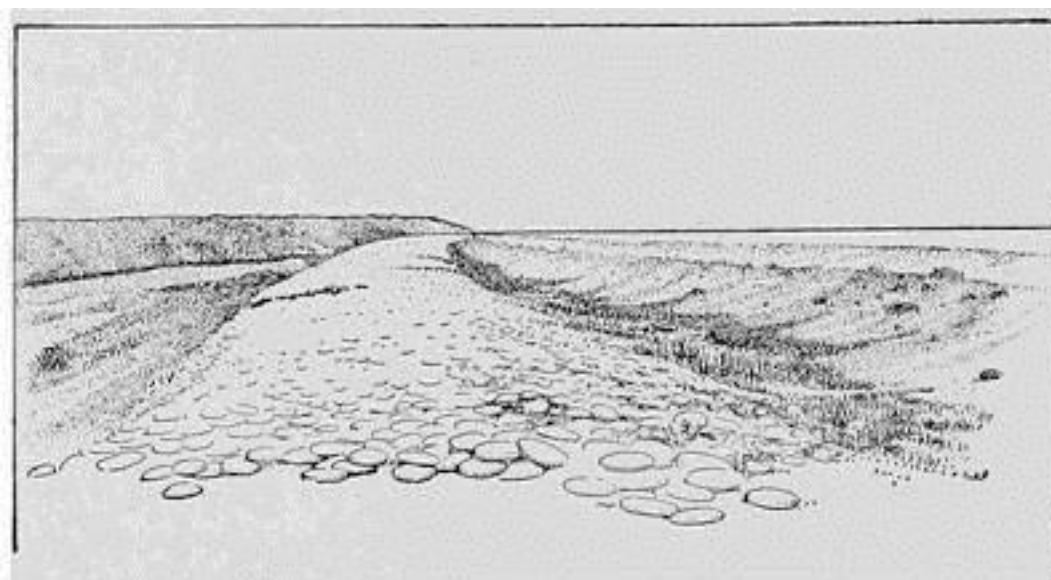


Рис. 277. Приподнятый галечный пляж напротив входа в бывшую бухту на побережье южной Калифорнии (по фотографии Фэрбенкса).

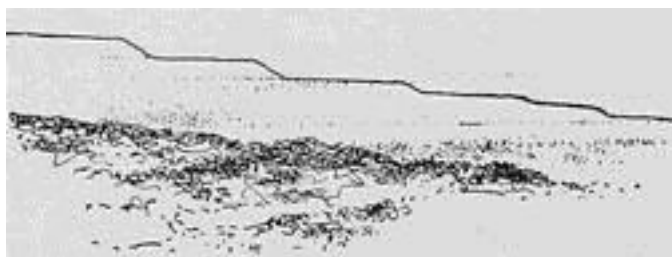


Рис. 278. Приподнятые пляжные террасы близ Эли, Файф, Шотландия.

Береговые террасы.—На тех берегах, где в наши дни высокие горы выступают над морем, обычно можно увидеть, что побережье поднимается серией террас (рис. 278). Это особенно верно в отношении тех побережий, которые сегодня сотрясаются от землетрясений, таких как восточная окраина Тихого океана от Аляски до Патагонии. Путешественник, путешествующий на пароходе вдоль побережья от Сан-Франциско до Чили, в течение нескольких недель почти постоянно видит эти гигантские ступени, на которых горы возвышаются из моря. На Аляске нам повезло, что мы знаем историю более поздних стадий этого поднятия (рис. 279). Как описано в предыдущей главе, в сентябре 1899 года часть этого берега поднялась в некоторых местах на высоту до сорока семи футов, что сопровождалось ужасающим землетрясением и морской волной. Над террасой, обозначающей береговую линию 1899 года, находится более высокая терраса аналогичной формы, ныне заросшая деревьями, но, тем не менее, ее можно четко узнать как береговую линию прошлого столетия, которая в длинной последовательности предшествовала подъему 1899 года.

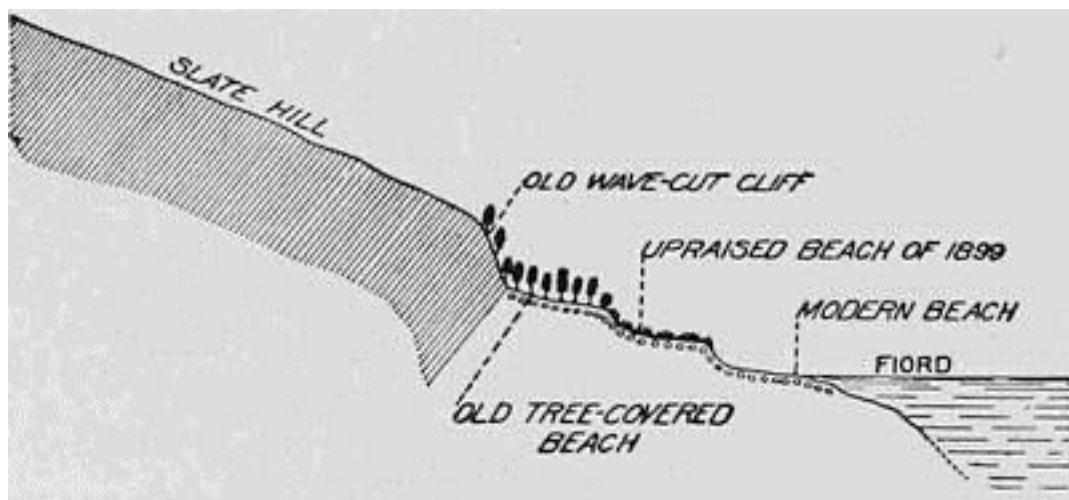


Рис. 279. Приподнятые морские скалы и террасы на побережье Рассел—фьорда, Аляска (по Тарру и Мартину).

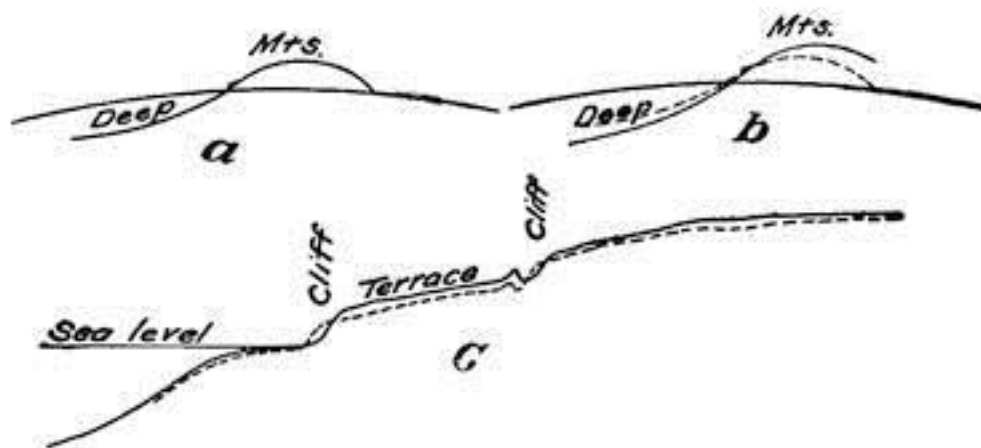


Рис. 280. Диаграммы, показывающие, как чрезмерное опускание морского дна приведет к смещению берега к суше по мере его подъема.



Рис. 281. Затопленное устье реки или эстуарий на прибрежной равнине.

Как было отмечено в нашем исследовании землетрясений, недавние инструментальные записи отдаленных землетрясений говорят нам, что движения на морском дне во много раз больше, чем на континентах, и что, хотя гористое побережье обычно поднимается, морские глубины опускаются. Результатом такого чрезмерного погружения или возникающего в результате сжатия земной оболочки может быть сжатие горного района и, таким образом, смещение береговой линии к суше одновременно с ее перемещением вверх (рис. 280).

Затонувший или затопленный берег.—Когда теперь, с другой стороны, участок береговой линии опускается относительно моря, вода вторгается во все прибрежные долины, таким образом “затопляя” их и образуя затопленное устье реки или *эстуарий*. Если рельеф берега был слабым, как это обычно бывает на прибрежной равнине, только небольшое понижение приведет к образованию широких эстуариев, таких как Чесапикский залив в затонувшем устье Саскуэханны (рис. 281).

Если, с другой стороны, рельеф берега сильный, а просадка большая, вся береговая линия превратится в архипелаг скалистых островков с крутыми стенами, резко поднимающихся из моря (рис. 282 и 284). Плато, пересеченное глубокими долинами U-образного сечения с крутыми стенами (стр. 341), под большим погружением образует *фьорды*, столь характерные для Скандинавии или Аляски. Неровная береговая линия, окаймленная островами в результате затопления, описывается как *затопленный берег*.



Рис. 282. Архипелаг крутых скалистых островков из—за большого погружения побережья с сильным рельефом. Вход в гавань Эскималт, остров Ванкувер (по фотографии Фэрбенкса).

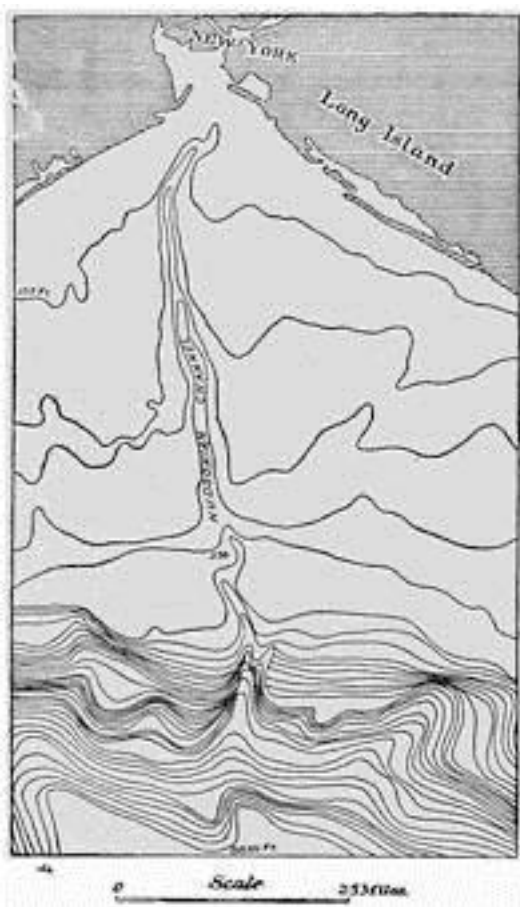


Рис. 283. Затопленный Гудзоновский канал, который продолжает реку Гудзон через континентальный шельф.

Затопленные речные каналы.— Затопления побережья с небольшим рельефом должно быть достаточно для полного затопления речных долин, русла которых затем начинают заполняться наносами и по течению которых можно проследить только при зондировании. Одним из наиболее интересных таких каналов является тот, который продолжает реку Гудзон через континентальный шельф в более глубокие морские глубины (рис. 283).

Записи колебаний движения.— То, что побережье глубоко осыпано, не является основанием для предположения, что сейчас происходит оседание или, фактически, это последнее движение, зарегистрированное на побережье. Во многих случаях легко увидеть, что это не так. Побережье штата Мэн, возможно, столь же типично для затопленной береговой линии, как и любое другое, которое можно было бы привести, но изучение речных долин по соседству ясно показывает, что нынешнее затопление их устьев является лишь частью более раннего затопления, оставившего следы своего существования в слоях морской глины, очерчивающих более ранние и гораздо более глубокие углубления (рис. 284).

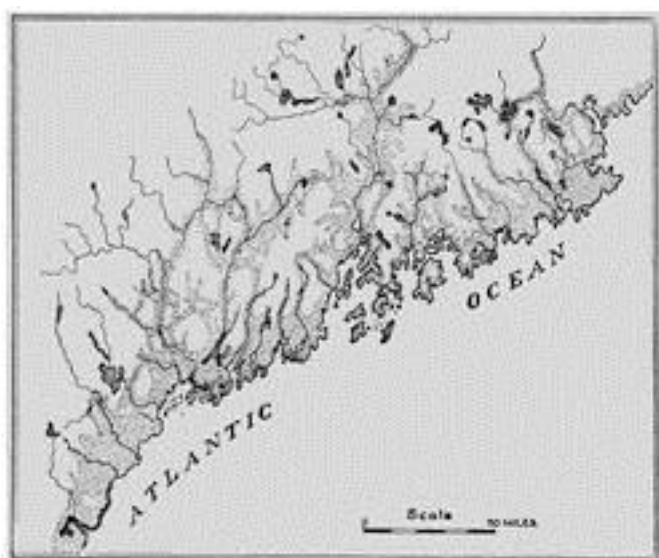


Рис. 284. Отложения морской глины вблизи устьев рек штата Мэн, которые сохранили свидетельства более раннего оседания (после камня).

Если теперь мы более внимательно изучим побережье, то обнаружим следы недавнего подъема на заброшенной береговой линии, которая сейчас находится намного выше досягаемости волн. Таким образом, здесь имеются данные сначала об оседании и последующем затоплении, а позже о подъеме, который уменьшил неровность очертаний побережья, обнажил глинистые отложения и поднял пласты периода глубокого оседания до их нынешнего положения.

В странах, обладающих более древней цивилизацией, чем наша, записи о таких колебаниях уровня грунта иногда заносились на памятники, созданные человеком, так что можно более или менее определенно датировать периоды опускания или подъема. В маленьком городке Поццуоли, на берегу Неаполитанского залива, найдена одна из наиболее поучительных из этих записей.

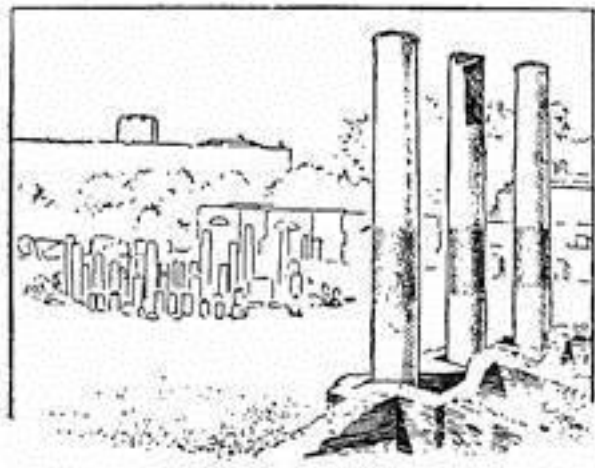


Рис. 285. Вид трех стоящих колонн храма Юпитера Сераписа в Поццуоли, на котором видна темная и шероховатая полоса шириной девять футов, оставленная моллюсками, которые сейчас обитают в Неаполитанском заливе.

В руинах древнего храма Юпитера Сераписа находятся три мраморных монолита высотой 40 футов, любопытно отмеченные шероховатой поверхностью на высоте от 12 до 21 фута над их пьедесталами (рис. 285). Более тщательный осмотр показывает, что эта шероховатая поверхность была создана морским моллюском, буравящим камни, *литодомом*, который обитает в водах Неаполитанского залива, и раковины этого животного все еще можно найти в полостях на поверхности колонн. Не приводя подробностей, которые неоднократно приводились с тех пор, как эти интересные памятники были впервые геологически исследованы Бэббиджем и Лайеллом, можно констатировать, что здесь сохранились свидетельства сначала об оседании примерно на 40 футов, а затем и о последующем возвышении низменного побережья, на котором стоял храм в древнеримском городе Путеолы (рис. 286).

Во время самого глубокого погружения верхняя часть зоны литодома на колонне находилась на уровне воды Неаполитанского залива, а более гладкая нижняя зона в то время была погружена в песок на дне и, таким образом, стала недоступной для литодоми. Следует добавить, что исследования, проведенные в окрестностях Поццуоли, полностью подтвердили изменения уровня, выявленные колоннами, благодаря обнаружению ныне приподнятых береговых линий, которые относятся к периоду глубокого затопления.

Одновременные противоположные движения вдоль побережья.—В ходе нашего исследования изменений уровня грунта, происходящих во время землетрясений, было выяснено, что соседние участки земной коры могут перемещаться с разной скоростью или даже в противоположных направлениях, несмотря на то, что общее движение провинции связано с подъемом. Так, во время землетрясения на Аляске в 1899 году, хотя участки береговой линии приподнялись на целых сорок семь футов, соседние участки были подняты на меньшую величину, а некоторые небольшие участки были затоплены так глубоко, что соленая вода и пляжный песок были намыты у корней лесных деревьев.

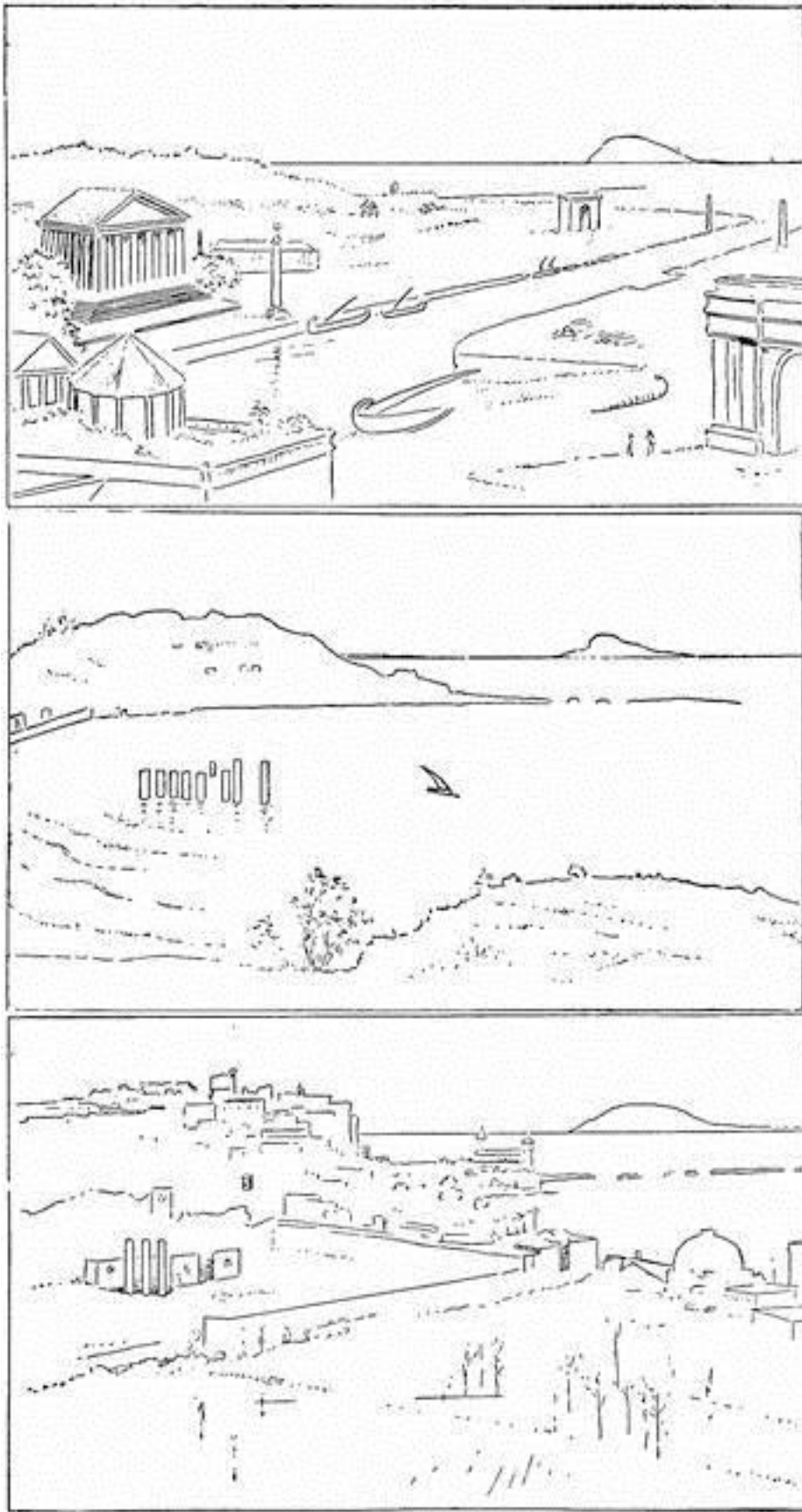


Рис. 286. Поццуоли в 3, 9 и 20 вв.

Протяженная береговая линия Чили является регионом, подверженным сильным землетрясениям, где нынешняя конфигурация грунта убедительно свидетельствует о движении в чем-то схожего характера, но со средним смещением высоты намного больше к северу, чем в противоположном направлении. Эта страна характеризуется обширной центральной долиной на севере и юге, которая отделяет прибрежный хребет от высокой цепи Кордильер на востоке. К югу дно этой долины понижается и продолжается в заливе Корковадо за островом Чилоэ и архипелагом Чонос. Известное недавнее поднятие побережья Чили, особенно в северных районах и во время землетрясений восемнадцатого, девятнадцатого и двадцатого веков, придает большой интерес этой топографической особенности. Имеются достаточные указания на то, что во время землетрясений в Консепсьоне в 1835 году и в Вальпараисо в 1907 году подъем был больше к северу, чем к югу.



Рис. 287. Карта острова Сан—Клементе, Калифорния, показывающая характерную топографию недавнего поднятия (после береговой и геодезической съемки США).

Контрастирующие острова Сан-Клементе и Санта-Каталина.— Возможно, самый яркий пример одновременных противоположных движений, наблюдаемых в соседних участках земной коры, представляет побережье южной Калифорнии. Само побережье в Сан-Педро и остров Сан-Клементе, примерно в пятидесяти милях от этой точки, как и большинство участков соседнего побережья, поднимаются прерывистыми движениями с моря и представляют собой на редкость совершенные характерные береговые террасы (рис. 287 и рис. 278, стр. 250). На полпути между этими двумя поднимающимися участками земной коры и менее чем в двадцати пяти милях от каждого из них находится остров Санта-Каталина, который погружается под волны, и, по-видимому, с такой же скоростью (рис. 288). Топография острова демонстрирует сложные детали поверхности, подвергшейся зрелой эрозии, в то время как на соседнем Сан-Клементе видны только широко расположенные глубокие каньоны младенческой стадии эрозии (рис. 165 и рис. 12 А). В то время как Санта-Каталина тонула, холм Сан-Педро поднялся на 1240 футов, а Сан-Клементе - на 1500 футов. Для опускающейся береговой линии характерно то, что спад скал происходит аномально быстро, и доказательством этого служат берега Санта-Каталины, на которых волны врезаются в скалы, возвращая их в русло каньонов, что приводит к образованию небольших водопадов в устьях каньонов.

Табличка 12.



А. V-образный каньон, вырубленный на возвышенности, недавно поднявшейся над морем, остров Сан-Клементе, Калифорния (в честь У. С. Танжер-Смита).



Б. “Хогбек” у подножия гор Бигхорн, Вайоминг (в честь Дартона).

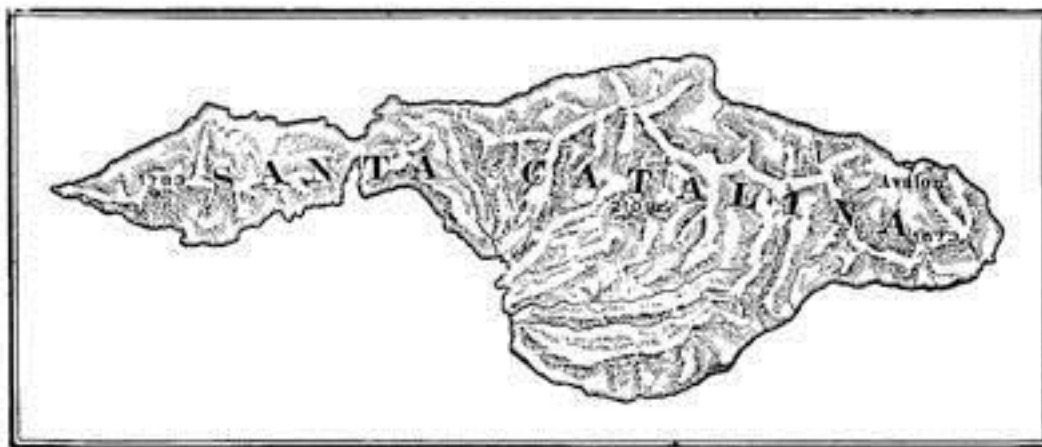


Рис. 288. Карта острова Санта—Каталина, Калифорния, показывающая характерную поверхность области, которая долгое время находилась над волнами, и полное отсутствие береговых террас (после США и Г. С.).

Голубой грот Капри.— Теперь мы можем вернуться к Неаполитанскому заливу за дополнительными доказательствами того, что колебания уровня в соседних участках одного и того же побережья не обязательно синхронны и что близлежащие участки могут даже двигаться в противоположных направлениях одновременно, как уже было показано для островов у побережья Калифорнии. Что касается побережья залива Поццуоли, то стало известно, что в христианскую эпоху в значительной степени был завершен полный цикл движения вниз, за которым затем последовал подъем. Через залив, менее чем в 20 милях, находится Голубой грот Капри, морская пещера, вырубленная в известняке над более ранней пещерой той же природы, которая сейчас находится глубоко под поверхностью воды. Именно преломленный солнечный свет, проникающий в пещеру через это нижнее подводное отверстие, лишается по пути всех лучей, кроме голубых, что придает знаменитому гроту особое очарование (рис. 289).

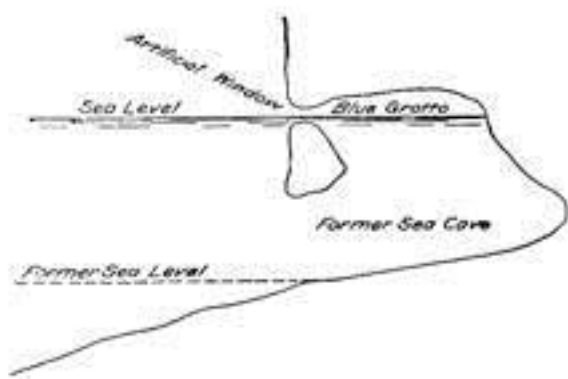


Рис. 289. Поперечный разрез Голубого грота на острове Капри, показывающий подводную морскую пещеру, через которую в грот попадает большая часть света, и более высокое искусственное окно, теперь расширенное под действием волн (после фон Кнебеля).

Известно, что бывшая, а ныне затопленная морская пещера использовалась римскими патрициями как прохладное убежище от пронизывающего горячего ветра, известного как сирокко, и что искусственный вход или окно было прорублено там, где сейчас находится единственный доступный вход в грот. Однако в древних писаниях нет упоминания о замечательном синем освещении, которым он сейчас знаменит, и условия в то время, как мы можем видеть, были не таковы, чтобы сделать это возможным. Позднее оседание побережья

привело к тому, что древнее окно оказалось на уровне моря, где оно было значительно увеличено волнами. Более ранний грот, заброшенный из-за того, что вход в него был закрыт, был заново открыт в 1826 году художником и поэтом Августом Копишем.

Грот с зеленой подсветкой (Грот Верде) расположен на противоположной стороне острова, а голубой грот, возникший в условиях, сходных с условиями знаменитого Голубого грота, находится на острове Буси у побережья Далмации.

Профили персонажей.—В ландшафте побережья, которое медленно поднимается, характерной линией является профиль куэсты с коротким перпендикулярным элементом, соединенным с пологим и более длинным участком и продолжающимся в горизонтальной части, соответствующей низменности (рис. 290). Быстро поднимающиеся берега, напротив, представляют собой линии, характерные для волновой эрозии и отложений, но на более высоких уровнях и на повторяющихся участках. Наиболее заметной из всех является лестница, построенная из прибрежных террас, с вертикальными или наклонными подступенками и с наклонными наружу ступенями с плавной градуировкой. Рядом с крутым подъемом лестницы иногда можно увидеть очертания штабеля, вырезанного из более мягкого материала, или похожий на обелиск столб, вырубленный у его основания в более твердых скальных массивах. При чрезмерно быстром подъеме в ландшафте может появиться двойной утес или двойная морская арка. На затопленном побережье наиболее заметными линиями являются скалистый островок и фьорд с крутыми стенами.

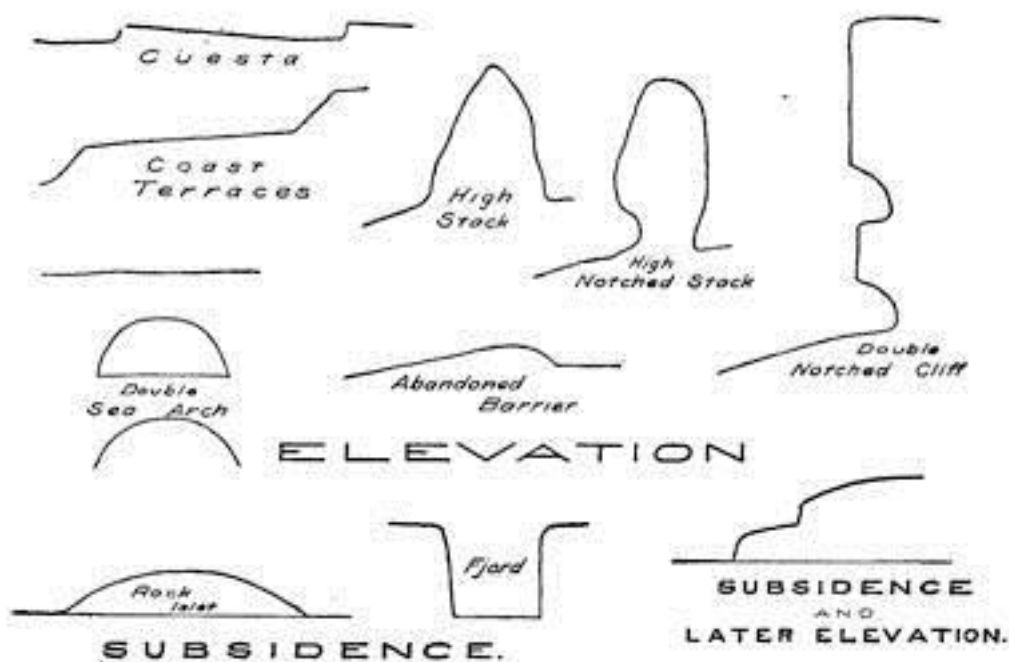


Рис. 290. Профили характера прибрежных ландшафтов, где наблюдались либо возвышения, либо впадины.

Список литературы для чтения главы XIX

Общие сведения:—

Сэр Ч. Лайелл. Принципы геологии, том 2, стр. 180-197.

Ред. Зюсс. "Лик Земли", Clarendon Press, Оксфорд, 1906, том 2, главы i и xiv, стр. 1-29, 535-556.

Robert Sieger. Seenschwankungen und Strandverschiebungen in Scandinavien, Zeit. d. Gesell. f. Erdk., Berlin, vol. 28, 1893, pp. 1-106, 393-688, pl. 7.

Возвышенные береговые линии:—

Ф. Б. Тейлор. Самая высокая старая береговая линия острова Макино, Am. Jour. Sci., том 43, 1892, стр. 210-218.

Томас Л. Уотсон. Свидетельства недавнего поднятия Южного побережья Баффиновой земли, журн. Геол., т. 5, 1897, с. 17-33.

Дж. У. Голдтуэйт. Зброшенные береговые линии Восточного Висконсина. Булла. 17, изд. Геол. и нац. История. Обзор, 1907, с. 134, стр. 1-37.

Признаки депрессии:—

У. Б. Скотт. Введение в геологию, Нью-Йорк, 1907, стр. 33-36.

У. Дж. МакГи. Мексиканский залив как мера изостатии, Ам. Журнал науки. (3), том 44, 1892, стр. 177-192.

А. Линденколь. Заметки о подводном русле реки Гудзон и др., Ам. Журнал науки. (3), т. 41, 1891, стр. 489-499, стр. 18.

Дж. У. Спенсер. Подводный Великий каньон реки Гудзон, *там же*. (4), т. 19, 1905, стр. 1-15; Подводные долины у американского побережья и в Северной Атлантике, Булл. Геол. соц. Ам., т. 14, 1903, с. 207-226, стр. 19-20.

F. Nansen. Батиметрические особенности Северного полярного моря с обсуждением континентальных шельфов и предыдущих колебаний береговой линии, Норвежская северополярная экспедиция, том 4, 1904, стр. 99-231, стр. 1.

W. v. Knebel. Хелен-Кунде и др., Брауншвейг, 1906, стр. 175-177 (голубой грот Капри).

Колебание движения:—

К. Лайель. Принципы геологии, том 2, стр. 164-176 (Храм Юпитера Сераписа).

Э. Рэй Ланкестер. Вымершие животные, Нью-Йорк, 1905, стр. 31-42.

Х. У. Фэрбенкс. Колебания побережья Калифорнии в плиоцене и плейстоцене, М. Геол., т. 20, 1897, с. 213-245.

Г. Х. Стоун. Понедельник. 34, Геология США. Обзор., 1899, стр. 56-58, стр. 2.

Бейли Уиллис. Эймс-Ноб, Норт-Хейвен, Мэн. Бык. Геол. соц. Ам., т. 14, 1903, с. 201-206, стр. 17-18.

Одновременные встречные движения по берегу:—

А. К. Лоусон. Постплиоценовый диастрофизм побережья Южной Калифорнии, Bull. Университет. Калифорния. Депт. Геол., т. 1, 1893, с. 115-160, стр. 8-9.

У. С. Танжер-Смит. Геологический очерк острова Сан-Клементе, 18-я энн. Репт. Геол. США. Обзор, Часть ii, 1898, стр. 459-496, стр. 84-96.

Р. С. Тарр и Л. Мартин. Недавние изменения уровня в районе залива Якутат, Аляска, Булл. Геол. соц. Ам., т. 17, 1906, с. 29-64, стр. 12-23.

ГЛАВА XX

ЛЕДНИКИ ГОР И КОНТИНЕНТОВ

Условия, необходимые для оледенения.—Везде, где в течение достаточно длительного периода ежегодный объем выпадающего снега в районе превышает объем тающего снега, от каждого сезона должен оставаться осадок, который добавляется к осадкам последующих сезонов. В конечном итоге накопится столько снега, что под действием собственного веса и в соответствии с его особыми свойствами внутри массы начнется движение, имеющее тенденцию к ее распространению и, таким образом, к уменьшению наклона ее верхней поверхности (*плиты фасада*). Таким образом, условиями, благоприятствующими оледенению, являются обильные осадки и низкая годовая температура. Если осадков выпадает мало, небольшой снегопад вскоре тает; а если температура слишком высока, влага выпадает в осадок не в виде снега, а в виде дождя. Здесь важно иметь в виду, что снег является плохим проводником тепла и сам по себе защищает свои более глубокие слои от таяния.

Линия снегопада.—Из-за низких температур ледники должны быть наиболее обильными или наиболее обширными в высоких широтах и на больших высотах. Самые крупные встречаются в полярных и субполярных регионах, и в других местах они встречаются только на значительных высотах. Самыми крупными ледниками являются обширные ледяные щиты, которые покрывают континенты Гренландия и Антарктида, но ледники больших размеров можно найти и на других крупных массивах Арктики, а также на Аляске, в южных Андах и в Новой Зеландии. Гораздо меньшие ледники характерны для некоторых высокогорий в умеренных и тропических регионах, но из-за особо благоприятных условий как с точки зрения высоты, так и количества осадков Гималаи, хотя и находятся в относительно низких широтах, питают ледники больших размеров. В целом, можно сказать, что питательные среды ледников в значительной степени ограничены теми районами, где снег покрывает землю в течение всего года. Нижняя граница таких областей обозначается как *линия снега* и лишь незначительно отличается от линии, на которой средняя летняя температура находится при точке замерзания воды — так называемой *летней изотерме 32° по Фаренгейту*. В тропиках эта линия может подниматься на высоту 18 000 футов над уровнем моря, тогда как в полярных широтах она опускается до уровня моря.

Важность горных барьеров для образования ледников.—Количество осадков в пределах любого района зависит, однако, не только от количества влаги, поступающей в него из облаков, но и от количества, которое отводится до того, как облака пройдут над ним. Способность помещения удерживать влагу увеличивается с увеличением его температуры, и, следовательно, любое понижение этой температуры приведет к снижению емкости. При достаточном снижении будет достигнута точка полного насыщения, и дальнейшее

охлаждение должно привести к выпадению осадков. Следовательно, все, что заставляет поток воздуха подниматься в более разреженные зоны наверху, снижает давление на него и, таким образом, вызывает охлаждающий эффект, при котором тепло не отводится. Это так называемое *адиабатическое охлаждение* газа может быть проиллюстрировано холодным потоком, который выходит струей из теплой шины из вспененной резины после открытия крана; или, что еще лучше, мгновенным затвердеванием при экстремально низких температурах таких обычных газов, как углекислота, когда им позволяют выходить под большим давлением из небольшого отверстия.

Применительно к насыщенным влагой и приповерхностным ветрам эффективными агентами адиабатического охлаждения являются возвышенности на континентах, и особенно горные хребты. Эти барьеры заставляют движущиеся облака подниматься, охлаждаться и откладывать влагу. Таким образом, именно горные барьеры противостоят встречным ветрам, несущим влагу, на которые выпадают самые обильные осадки. В регионах с умеренным климатом из-за преобладания западных ветров те барьеры, которые обращены к западным берегам, подвергаются наиболее сильному обрушению. С другой стороны, в тропиках именно барьеры, обращенные к восточным берегам, из-за восточных “пассатов” наиболее благоприятны для выпадения осадков.

Таким образом, именно в Сьерра-Неваде в Калифорнии, а не в Скалистых горах или Аппалачах, находятся ледники Соединенных Штатов. Высокогорье Швейцарских Альп, лежащее аналогично поперек “западных направлений” умеренной зоны, получает влагу для питания своих ледников из западного океана — здесь Атлантического (рис. 291). В тропиках условия противоположны, и, как правило, более благоприятными являются хребты, расположенные ближе к восточному побережью. Если на этом побережье не будет найдено преграды, облака могут пролететь над обширными пространствами страны, прежде чем их остановят горы и лишат их влаги. Так, в тропической Бразилии ледники находятся в Андах на тихоокеанском побережье, хотя и подпитываются облаками с Атлантики.

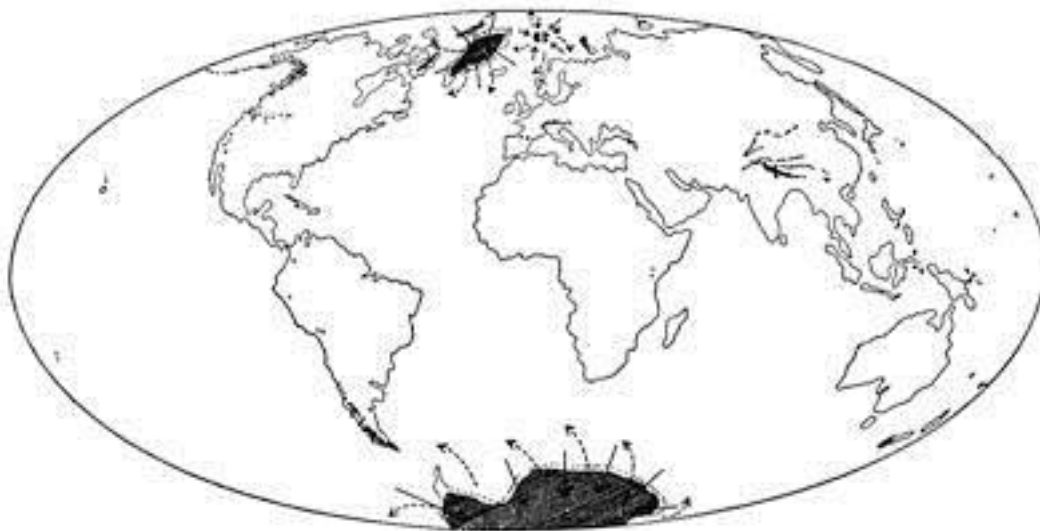


Рис. 291.— Карта, показывающая распределение существующих ледников и два важных полюса ветра на земле.

Чувствительность ледников к перепадам температуры.—Насколько чувствительна разница между количеством снежных осадков и температурой, может быть наглядно продемонстрировано авторитетным заявлением о том, что если среднегодовая температура воздуха в Шотландском нагорье понизится всего на три градуса по Фаренгейту, то в

результате образуются небольшие ледники; а умеренное понижение температуры в регионе, окружающем Лаврентийские озера Северной Америки, вызовет оледенение, иначе выражающееся в понижении снежной линии региона.

Цикл оледенения.—Хотя сегодня Гренландия погребена под своей ледяной мантией, известно, что в более ранние геологические эпохи климат Гренландии не раз был особенно мягким, и в какой-то будущей эпохе он может вернуться к этому состоянию. В других регионах у нас также есть свидетельства того, что подобная череда климатических изменений последовательно осуществлялась, климат неуклонно усиливался по суровости к кульминационной точке, за которой последовала обратная серия изменений. Такой полный период можно назвать *циклом оледенения*. В то время как климат неуклонно становится все более суровым, мы имеем дело с *наступающим полуциклом оледенения*, но после достижения кульминационной точки периодом улучшения климата является *отступающий полуцикл*.

Наступающий гемцикл.—Нет особых оснований сомневаться в том, что какой бы ни была причина климатических изменений, которые приводят к ледниковым условиям, эти изменения происходят незаметными постепенными переходами. Первым видимым свидетельством возросшей суровости климата является более длительное сохранение зимних снегопадов, поначалу в более возвышенных районах. В таких местах сугробы в конечном итоге должны сохраняться в течение всего теплого сезона и, таким образом, способствовать накоплению снега следующей зимой. Достигнув этой точки, небольшие ледники неизбежны, даже если средняя температура больше не будет падать, поскольку снег, остающийся в течение каждого сезона, должен неуклонно увеличивать глубину отложений, пока его вес не вызовет внутреннее перемещение массы с более высоких уровней на более низкие.

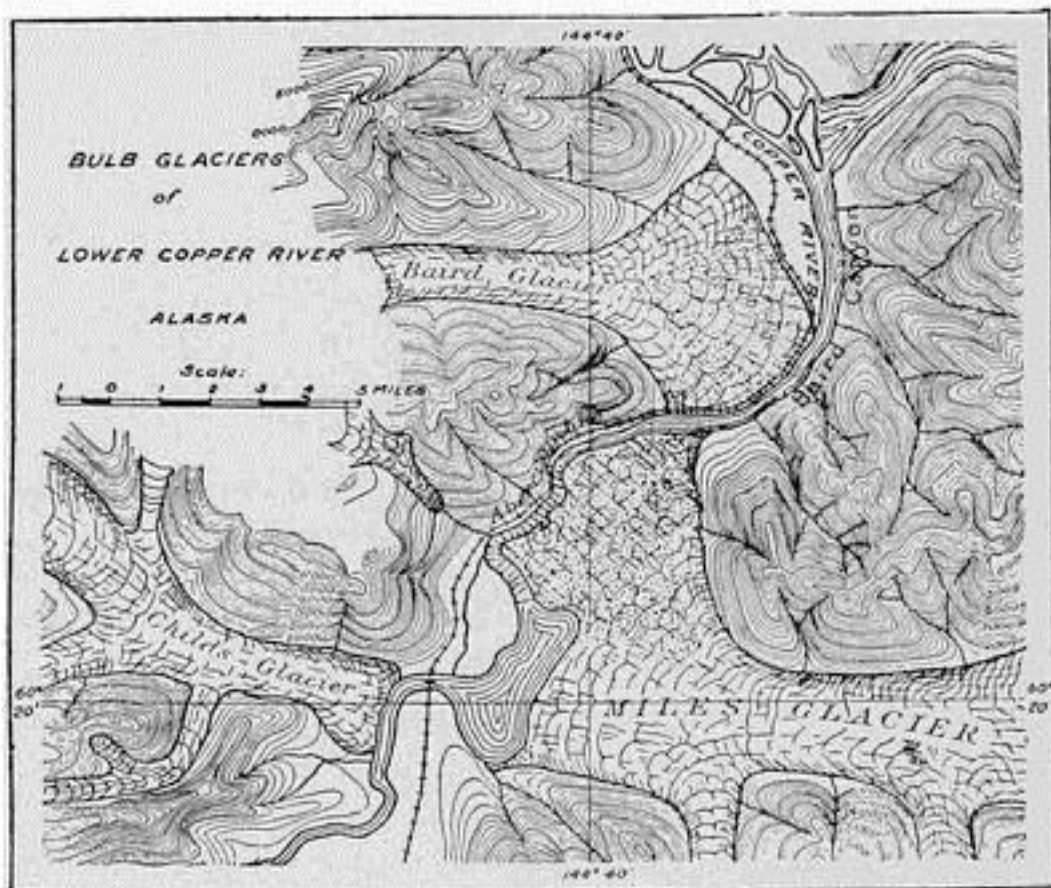


Рис. 292. Ледник Аляски, простирающийся у подножия хребта, который его питает.

Унаследованные впадины нагорья — пологие впадины в верховьях рек — сначала будут заполнены, и таким образом долины ниже станут естественными каналами для оттока ранних ледников. С продолжающимся понижением годовой температуры и, как следствие, увеличением количества снегопадов, ранние ледники становятся все более и более обильными. Таким образом, снег и лед покроют большие площади нагорья, а ледники продвинут свои фронты дальше вниз по долинам, прежде чем растворятся в теплом воздухе нижних уровней. По мере того, как долины становятся, таким образом, более полностью покрытыми ледником, они также заполняются на все большую глубину, и таким образом они могут затопить части стен, разделяющих соседние долины. Достигнув, наконец, передней части возвышенности, ледники, возможно, теперь настолько хорошо питаются в верхней части, что выходят на более плоский передний край и, не сдерживаемые подпорными стенами, широко распространяются по нему (рис. 292).



Рис. 293. Поверхность ледника, верхние слои которого распространяются с небольшим отрывом от подпорных стенок. Поверхность Фольгефонда, ледяной шапки южной Норвегии.

Возможно, кульминация прогрессирующего изменения климата была достигнута раньше, чем это произошло, и наступили более мягкие условия. Однако, если суровость климата еще больше усилится, расширенные фронты соседних ледников сольются, образуя общий ледяной веер или фартук вдоль подножия возвышенности (фото 18b). Это вряд ли могло произойти без еще большего углубления льда в долинах выше и, вероятно, постепенного погружения нижних гребней в стенки долин. Это может продолжаться даже до тех пор, пока не будут засыпаны все участки возвышенности. Снег и лед теперь принимают форму покрывающей шапки или панциря, а верхние части, больше не сдерживаемые по бокам, теперь растекаются широким куполом, подобно вязкой жидкости, похожей на густую патоку, если вылить ее на пол (рис. 293). Движение нижних зон массива и более тонких краевых участков все еще в большей или меньшей степени контролируется неровностями скального основания, на которое они опираются.

Обратная серия изменений в леднике начинается с улучшения климата, и здесь, следовательно, наступающий полуцикл сливается с отступающим полуциклом оледенения.

Контраст континентальных и горных ледников.—Время, когда поверхность горных пород погружается под ледник, является, как с точки зрения формы поверхности, так и с точки зрения эрозионных процессов, критической точкой большого значения; поскольку ледяная шапка и более крупный континентальный ледник, очевидно, защищают поверхность горных пород от действия тех химических и механических процессов, в которых атмосфера участвует в качестве основного агента и которые в совокупности известны как процессы выветривания. До завершения погружения большие или меньшие участки поверхности скалы выступают либо сквозь ледяные массы, либо между ними и, следовательно, подвергаются непосредственному воздействию погодных условий (см. Ниже, [стр. 370](#)).

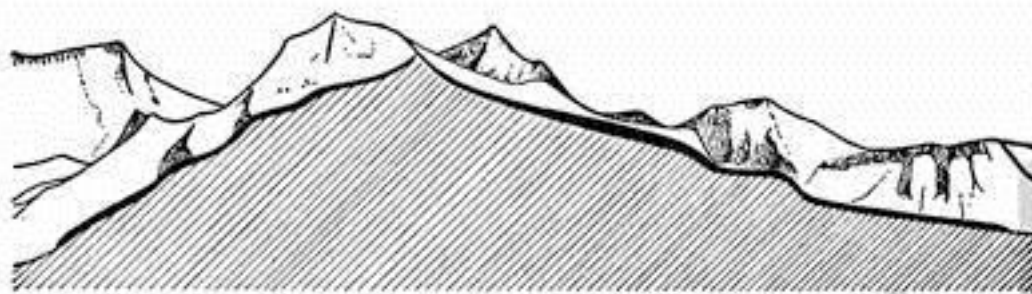


Рис. 294. Разрез горного ледника (выделен сплошным черным цветом), показывающий, как его поверхность определяется неровностями в скальном основании (по Гессу).

Снегу, который выпадает в горах, не разрешается долго оставаться там, где он выпадает. При первом сильном ветре он сметается с более возвышенных и открытых поверхностей и собирается вихрями во всех существующих впадинах, но особенно в тех, что расположены на подветренных склонах хребта. Нам предстоит узнать, что ледники прорезают горы, расширяя впадины, которые они находят, и создавая большие бассейны для сбора снега; но с началом оледенения унаследованные впадины в большинстве случаев представляют собой незначительные впадины в верховьях рек. Какими бы они ни были и какой бы формы, снег сначала заполняет те впадины, которые защищены от ветра, и по мере того, как он накапливается и распределяется в виде льда, приобретает собственную поверхность, которая зависит от формы и положения котловины, которую он занимает (см. [Рис. 294](#)).

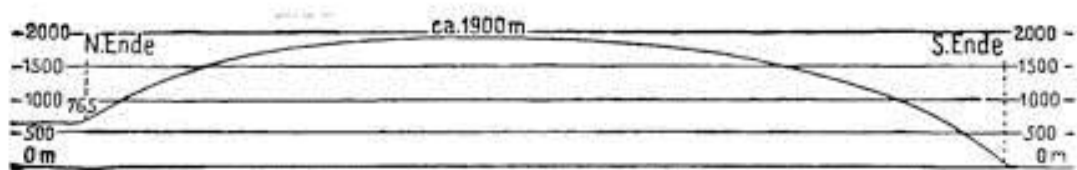


Рис. 295. Профиль крупнейшей из ледяных шапок Исландии, вертикальный масштаб сильно увеличен (по Торродсену и Шпетманну).

Когда количество скопившегося снега настолько велико, что заполняются все впадины на поверхности скалы, ее собственная поверхность больше не контролируется подпорными каменными стенами, и теперь она принимает форму, в значительной степени независимую от неровностей возвышенности. Опыт показывает, что эта поверхность примерно равна плоскому куполу или щиту, и поскольку она покрывает всю возвышенность, за исключением тех мест, где лед по краям становится тоньше, этот тип ледника называется *ледяной шапкой* ([рис. 295](#)). Все типы ледников, в которых скальные породы выступают над самыми высокими уровнями льда и снега, известны как *горные ледники*.



Рис. 296. Идеальный разрез континентального ледника с сильно увеличенным вертикальным масштабом и выступающими скальными массивами пограничной зоны.

Плоские ледяные купола, покрывающие континенты Гренландия и Антарктида, хотя и напоминают по форме меньшую ледяную шапку, все же из-за своих огромных размеров настолько отличаются от них, особенно по способу питания, что их относят к отдельному классу, описываемому как *внутренний лед* или *континентальные ледники*. Хотя они имеют некоторое сходство с ледяными шапками, они наиболее резко отличаются от всех типов горных ледников. Из них верно, что литосфера выступает через них только вблизи их краев (рис. 296), тогда как в случае с горными ледниками скальные породы могут выступать на любом уровне, но *всегда выше самой высокой снежной поверхности*. Ледяные шапки можно рассматривать как промежуточные между двумя основными классами горных и континентальных ледников (рис. 297). Из-за большой роли, которую континентальные ледники сыграли в геологической истории, считается, что лучше всего сначала рассмотреть их, оставив для последующего обсуждения не менее интересные, но менее важные горные ледники.

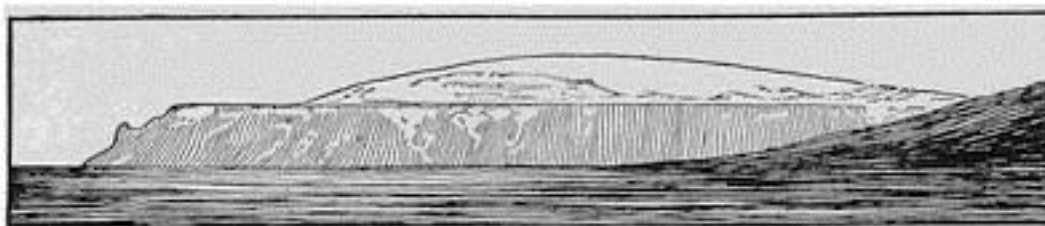


Рис. 297. Вид на Эйрикс—Екюдль, ледяную шапку Исландии (по Гроссману).

Питание ледников.—Срок службы ледника зависит от продолжающегося выпадения снега в общем количестве, превышающем то, которое теряется при таянии или других истощающих процессах. С другой стороны, всякий раз, когда количество отходов превышает количество осадков, ледник находится в состоянии отступления и должен в конечном итоге исчезнуть, если такие условия сохраняются достаточно долго. Источником снега является океанская вода, испаряющаяся в атмосферу и разносящаяся по суше в виде облаков. Нам предстоит узнать, что изменения, которым подвергается эта влага перед ее поступлением в ледник, заметно различаются для классов континентальных и горных ледников.

Верхняя и нижняя облачные зоны атмосферы.—Прежде чем мы сможем понять природу процессов, посредством которых питаются ледники, необходимо будет пересмотреть результаты недавних исследований, проведенных в отношении атмосферной оболочки Земли. Следует иметь в виду, что солнечные лучи в основном эффективны в нагревании атмосферы, поскольку сначала поглощаются каким-либо твердым телом, таким как камень или вода, а затем их тепло передается при контакте непосредственно прилегающим слоям воздуха. Нагретые таким образом слои теперь легче, чем раньше, они поднимаются и заменяются более холодным воздухом, который, в свою очередь, нагревается и также приводится в движение вверх. Такие потоки, возникающие в воздухе при контакте с более теплыми твердыми телами, представляют собой процесс, известный как конвекция.

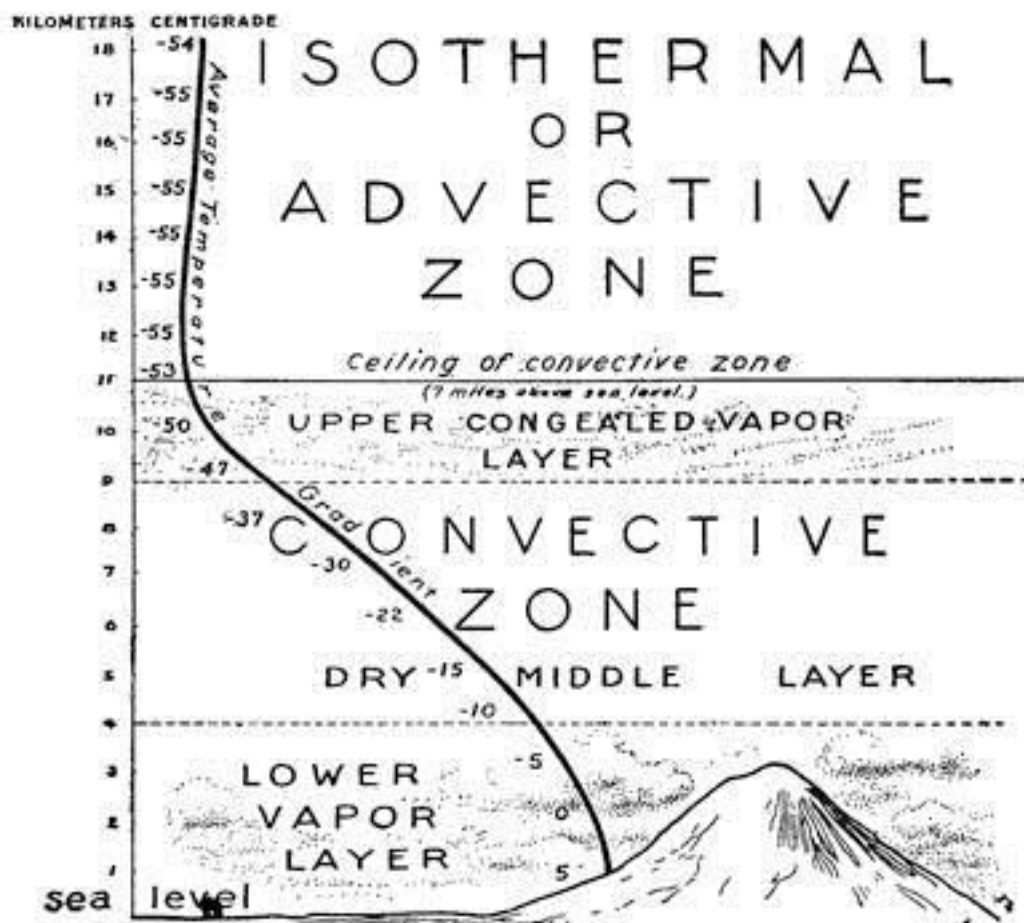


Рис. 298. Зоны нижних слоев атмосферы, выявленные недавними исследованиями воздушных змеев и аэростатов.

В относительно небольшой степени атмосфера нагревается за счет прямого поглощения проходящих через нее солнечных лучей. Поскольку воздух имеет вес, он сжимает нижние слои вблизи земли, и, следовательно, по мере того, как мы поднимаемся с поверхности земли, воздух становится все легче. Следовательно, конвекционные потоки должны регулироваться за счет расширения воздуха по мере его подъема. Но расширение газа всегда приводит к его охлаждению, как, должно быть, заметил каждый, кто прикладывал палец к воздушному потоку, выходящему из открытого клапана теплой резиновой шины. Сухой воздух охлаждается на градус по Фаренгейту за каждые шестьсот футов подъема в атмосферу. На высоте около семи миль над поверхностью земли все восходящие воздушные потоки остыли примерно до 68° ниже нуля по шкале Фаренгейта, и исследования с помощью воздушных шаров показали, что дальше течения не поднимаются. На этом уровне они движутся горизонтально, подобно тому, как поднимающийся пар распространяется в комнате под потолком. Выше этого уровня, насколько позволяют исследования, или на высоте более двенадцати миль температура остается почти постоянной, и поэтому эта верхняя зона называется *изотермической* или *адвективной зоной* — зоной равномерной температуры нижних слоев атмосферы. Под конвективным потолком характерен процесс конвекции, и поэтому эта зона описывается как *конвективная зона* (рис. 298).

Большая часть влаги, поднимающейся с поверхности океана, конденсируется в пар еще до того, как поднимется на высоту трех миль, и в таком виде она проходит над сушей в виде ворсистых или слоистых облаков — так называемых кучевых и слоисто-слоистых облаков и многих промежуточных их разновидностей (см. Фронтиспис). Таким образом, этот нижний

слой внутри конвективной зоны является влажным слоем, перекрытым относительно более сухим средним слоем конвективной зоны. Влага, которая поднимается над нижним слоем облаков, застывает при адиабатическом охлаждении до тонких ледяных иголочек, видимых в виде так называемых перистых облаков, которые плавают в виде перистых листьев под конвективным потолком (см. Фронтиспис в правом верхнем углу рисунка). Таким образом, внутри конвективной зоны мы имеем верхний слой, более или менее насыщенный водой в виде ледяных игл. Именно облака нижней зоны, влага которых в виде пара обеспечивает питание горных ледников, и высокие перистые облака, чья застывшая влага после интересных преобразований отвечает за дальнейшее существование континентальных ледников.

Как мы увидим, существуют и другие заслуживающие внимания различия между континентальными и горными ледниками в способе формирования ими литосферы, так что спустя долгое время после их исчезновения характеры каждого из них легко распознать в произведении их рук. Как нижние облака выталкиваются вверх и, таким образом, вынуждены отдавать свою влагу для питания горных ледников, и как верхние облака вытягиваются вниз, чтобы питать ледники континентов, можно лучше всего понять после изучения характеристик каждого класса ледников.

ГЛАВА XXI

КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ЛЕДНИКИ ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНОВ

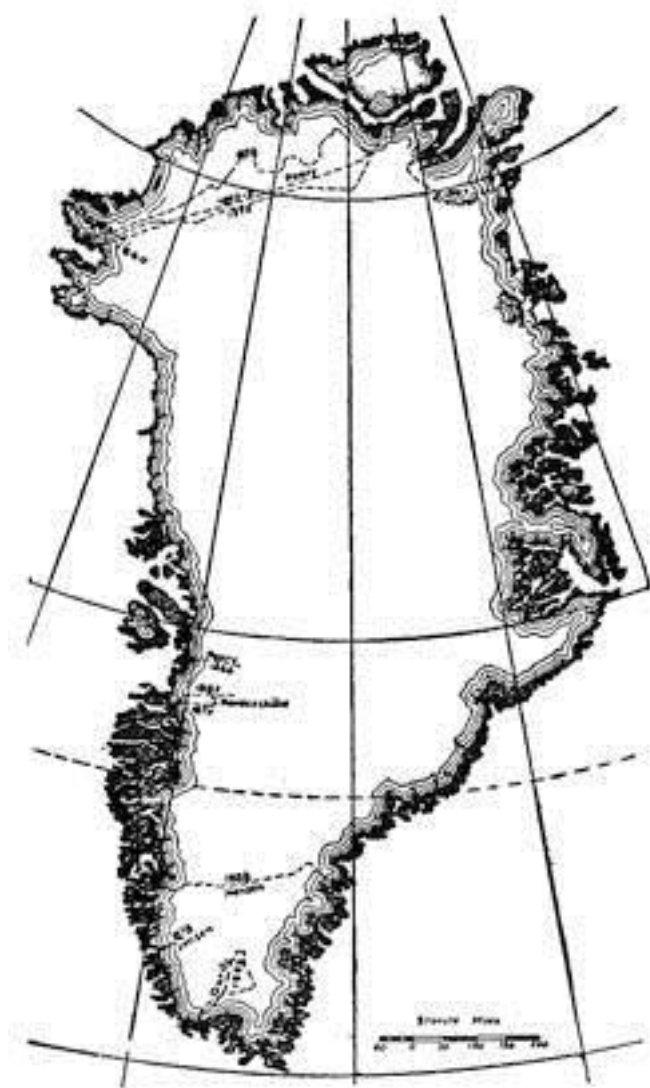


Рис. 299. Карта Гренландии с указанием площади внутреннего льда и маршрутов различных исследователей.

Внутренние льды Гренландии.—В Гренландии и Антарктиде суша почти или полностью погребена под покровом снега и льда — так называемым “внутренним льдом”, — поверхность которого всегда принимает форму очень плоского купола или щита. В Гренландии встречается окраинная полоса суши шириной обычно от пяти до двадцати пяти миль (рис. 299), но в Антарктиде вся суша, за исключением нескольких горных вершин, окутана ледяной мантией, которая также простирается над морем широким шельфом из снега и льда. Ни один из этих обширных ледников не был исследован, за исключением его окраинной части, однако симметрия профилей вдоль пройденных маршрутов и такая ровность и монотонность снежной поверхности на окраинах таковы, что нет особых оснований сомневаться в том, что профиль, сделанный вдоль маршрута Нансена в южной Гренландии, за исключением величины, точно отражает участок в середине континента (рис. 300).

Горный вал и его порталы.— Как только мы исследуем прибрежный пояс, мы замечаем, что “Великий лед” Гренландии удерживается горной стеной и поэтому не может распространиться на свою естественную поверхность в краевых частях. Через проходы окружающих горных хребтов — *выходы* — он выбрасывает *языки* льда, которые во многих отношениях напоминают определенные типы горных ледников.

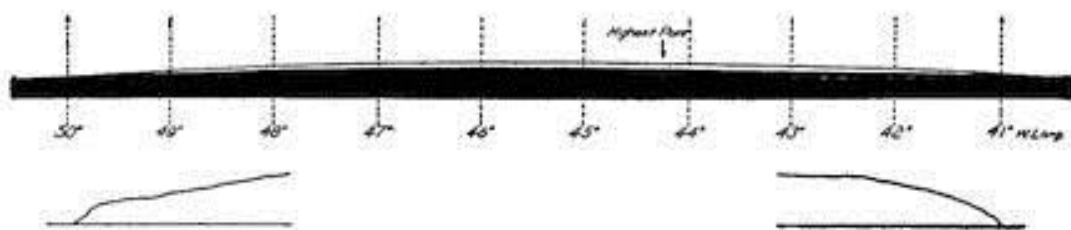


Рис. 300. Профиль в естественных пропорциях южной оконечности континентального ледника Гренландии, построенный по дуге земной поверхности и основанный на профиле Нансена, скорректированном Гессом. Краевые участки профиля представлены ниже в увеличенном масштабе, чтобы подчеркнуть характер краевых склонов.

Такие измерения, которые были сделаны на внутреннем льду Гренландии в точках, удаленных от устьев, но все же сравнительно близких к ним, показывают, что здесь скорость движения поверхности составляет менее дюйма в день, и весьма вероятно, что на умеренных расстояниях от границы эта величина уменьшается до нуля. Напротив, на выходах были измерены поверхностные скорости, достигающие 59 футов в день, и сообщалось даже о 100 футах в день. Таким образом, мы вправе утверждать, что поток ледников в пределах выходов в 700-1000 раз больше, чем на близлежащих внутренних льдах, и что ледник в определенной степени осушается через входы вмещающих хребтов. За этими выходящими потоками льда, или языками, поверхность внутреннего льда вдавливаются, образуя углубление или “бассейн выделения”, как на поверхности резервуара над дорожкой качения, когда вода быстро отводится (рис. 301).

Табличка 13.



А. Обрывистый фронт выхода ледника Брайант из внутреннего льда Гренландии (после Чемберлина).



Б. Боковой поток у выхода из ледника Бенедикт, Гренландия (в честь Р. Э. Пири).

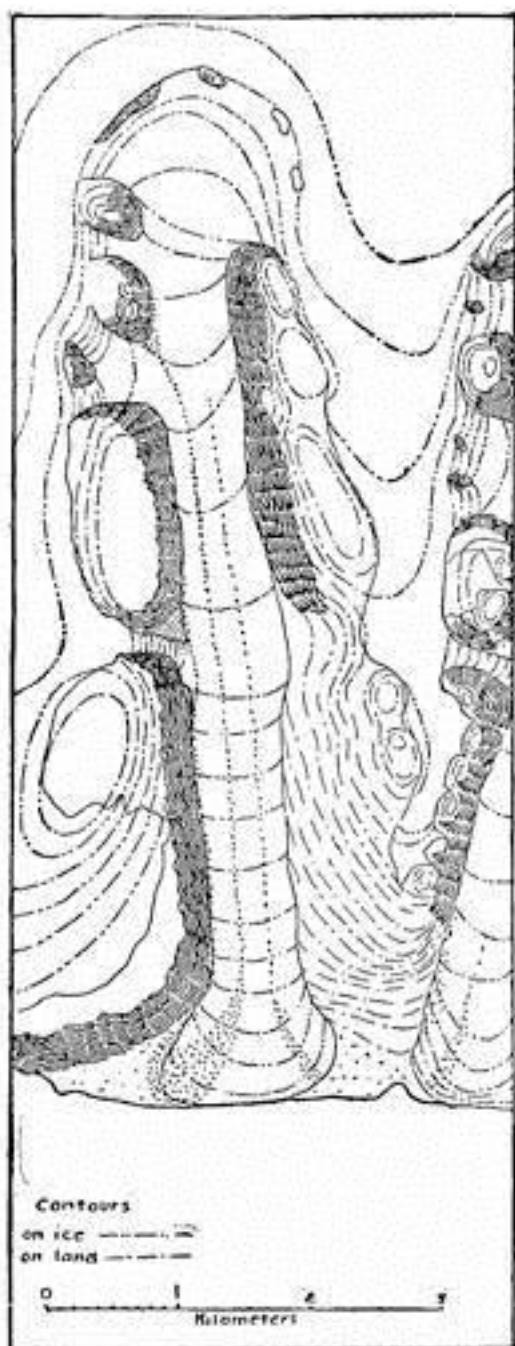


Рис. 301.— Карта языка ледника с углублением, показанным сверху и обусловленным углублением льда. Уманак-фьорд, Гренландия (в честь фон Дригальски).

Трещины во льду, так называемые расселины, являются признанными признаками движения льда, и они всегда сосредоточены на крутых склонах поверхности льда вблизи его краев. Во льдах Гренландии трещины ограничены в своем распространении зоной, которая простирается от семи до двадцати пяти миль в пределах границы льда.

Окраинные скалистые острова. От его края ледяная поверхность поднимается так круто, что взобраться на нее можно лишь с трудом, но этот уклон неуклонно уменьшается, пока на расстоянии от семидесяти пяти до ста миль ее уклон не станет меньше двух градусов. Там, где Нансен пересек обширную центральную область льда около 64° северной широты, она была настолько ровной, что казалась равниной.

По мере того, как мы проходим по неровной кромке льда в направлении внутренних районов, все большая и большая часть поверхности суши оказывается затопленной, пока над льдом не поднимаются только выступающие вершины в виде островов, которые называются *нунатаками* (рис. 302).

Хотя это не универсальное наблюдение, часто отмечалось, что поглощение солнечных лучей скальными массивами, выступающими сквозь снег, приводит к излучению тепла и его снижению за счет таяния окружающего снега и льда. По этой причине нунатаки часто окружены глубокой траншеей из-за таяния снега. Такое углубление в поверхности льда на краю нунатака из-за его сходства с траншеей вокруг древнего замка было названо *рвом* (рис. 303). По той же причине выходящие языки льда, которые спускаются в глубоких фьордах между скальными стенами, оттаивают от стен, и иногда обнаруживается боковой поток воды, протекающий между льдом и скалой (рис. 13 Б).

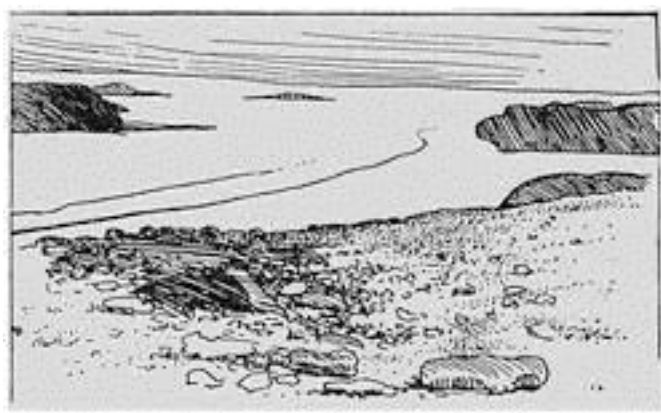


Рис. 302. Край внутреннего льда Гренландии, показывающий нунатаки, уменьшающиеся в размерах по направлению к внутренней части. Линии на льду представляют собой медиальные морены, начинающиеся от нунатаков (после Либби).

Фрагменты горных пород, которые перемещаются вместе со льдом.—Поверхности горных пород, подверженные воздействию атмосферы, в высоких широтах разрушаются в результате замерзания воды в их щелях. Фрагменты, образующиеся в результате этого процесса раздиранья, падают на поверхность ледника и переносятся вперед в качестве пассажиров в направлении кромки льда. Они либо видны в виде длинных и узких гребней или цепочек, следующих в направлении самого крутого склона (рис. 302), либо они оказываются погребенными под свежими снегопадами и снова становятся видимыми только там, где летнее таяние понизило поверхность ледника вблизи его края. Эти продольные цепочки скальных обломков на поверхности ледника всегда имеют начальную точку на нижнем краю одного из нунатаков и известны как *медиальные морены* (рис. 301, стр. 273 и рис. 302). Однако внутри зоны нунатаков поверхность ледника свободна от обломков горных пород, за исключением тех мест, где ветер занес пыль, и это простирается всего на несколько миль. Материал медиальных морен представляет собой совокупность угловых блоков, поверхность которых является результатом разрушения морозом, поскольку при их перемещении над поверхностью льда они не подвергаются процессам истирания.

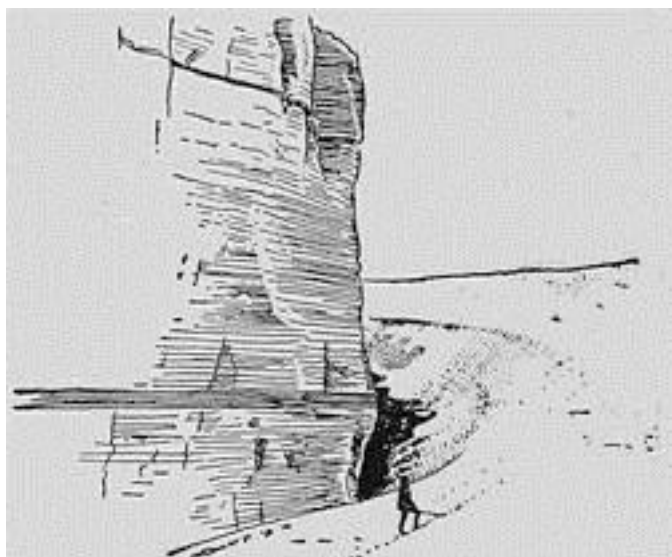


Рис. 303. Ров, окружающий нунатак на Земле Виктория (в честь Скотта).

Контрастный тип поверхностных морен на Гренландском леднике, вместо того чтобы быть параллельным направлению движения льда, направлен поперечно или параллельно краям. Материалом этих морен являются более округлые фрагменты породы, поднявшиеся из нижних слоев, и мы снова обратимся к происхождению таких морен после рассмотрения подледниковых условий.

Мельница подо льдом.—Если теперь мы исследуем переднюю часть языка ледника, который выходит из внутреннего льда, мы обнаружим, что, в то время как верхняя часть белая и в основном свободна от обломков горных пород ([фото 13 А](#)), нижняя зона темного цвета и заполнена слоями гальки и валунов, которые были обструганы, отполированы и поцарапаны весьма примечательным образом. Ледяной фронт сам по себе подвержен поступательным и ретроградным миграциям с коротким периодом, но легко видеть, что в основном его более масштабное перемещение было ретроградным. Земля, из которой он недавно извлекся, обычно представляет собой твердый каменный пол, не пропитанный влагой, но гладкий, отполированный и поцарапанный таким же образом, как и котелки, вмурованные в лед. Совершенно очевидно, что последние были получены из какой-то части скального основания, на котором до сих пор покоится ледник, и что пол и чаши были гладко отшлифованы в результате взаимного контакта под давлением.

Эта эрозия подо льдом осуществляется двумя процессами, а именно *выщипыванием* и *истиранием*. Везде, где порода, по которой движется ледник, выступала массивами и была расколота плоскостями трещин любого типа, лед легко удалялся большими или меньшими фрагментами с помощью процесса разработки карьеров, называемого выщипыванием. Можно сказать, что порода оторвана блоками, которые в значительной степени ограничены ранее существовавшими плоскостями трещин. На относительно ровных поверхностях выщипывание не имеет большого значения, но там, где на ложе ледника имеются заметные неровности поверхности, те стороны, которые удалены от надвигающегося льда (*подветренная* сторона), разрушаются в результате выщипывания таким образом, что иногда остаются крутые и неровные поверхности разломов. Ледяные инструменты, приобретенные таким образом в процессе выщипывания, быстро вмерзают в самые нижние слои льда, и теперь, когда их волочат по полу, они шлифуются таким же образом, как рашпиль или напильник. Эти ледяные инструменты сами изнашиваются в процессе обработки и, таким образом, приобретают свою характерную форму. Точно так же, как гранильщик шлифует поверхность драгоценного камня на грани путем встраивания

драгоценного камня в матрицу сначала в одном, а затем в другом положении, каждый раз стирая выступающие неровности за счет контакта с истираемой поверхностью; подобным образом обломок породы крепко удерживается на дне ледника до тех пор, пока не будет “подкован” сначала с одной стороны, а затем с другой. Случайного контакта с каким-либо препятствием на полу может быть достаточно, чтобы фрагмент повернулся и, таким образом, появилась новая поверхность для износа абразивного пола. Незначительные препятствия, соприкасающиеся только с одной стороной фрагмента, могут повернуть его в своей плоскости без опрокидывания. Свидетельства таких прерываний могут быть позже обнаружены в различных направлениях бороздок на одной и той же грани (фото 17 А).



Рис. 304. Ледниковый покров пермо-каменноугольного периода в Южной Африке. Полосы, идущие в направлении наблюдателя, заметны, а справа на среднем расстоянии (после Дэвиса) следует отметить примечательную выемку поверхности.

В процессе шлифования дно под ледником сводится к более или менее гладкой и, как правило, уплощенной или округлой поверхности — так называемому *ледниковому покрытию* (рис. 304). Для достижения этой цели вся бывшая мантийная порода, образовавшаяся в результате процессов выветривания, должна быть сначала очищена, а твердая неизменная порода под ней везде, где она подвержена воздействию, должна быть гладко отполирована, хотя в некоторых местах и поцарапана шлифовальными кругами. Более ранние выступы поверхности пола, если и не были полностью обструганы, то, по крайней мере, превратились в закругленные каменные выступы, которые из-за их сходства с тесно прижатыми спинами в стаде овец были названы “овечьими спинами” или “*рош мутонне*”. Таким образом, результатом совместного действия процессов выщипывания и истирания является уменьшение акцента рельефа и придание контурам породы плавных изгибов, обычно большого радиуса.

Подъем шлифовальных инструментов и их встраивание в лед.—Везде, где лед локально сдерживается выступающими нунатаками, между такими препятствиями обнаруживается рельеф, и там течение льда имеет соответственно увеличенную скорость (рис. 305 b). Если препятствия не имеют больших размеров, лед, который обтекает внешние края, вскоре соединяется с тем, который проходит между препятствиями, и, таким образом, нормальные условия течения восстанавливаются ниже нунатаков. Локально быстрое течение льда, таким образом, ограничено относительно небольшим расстоянием, проходом между нунатаками, и условия, таким образом, можно сравнить с падением воды на дорожке для бега из-за внезапного снижения ее поверхности от уровня водохранилища до уровня ручья на выходе. Как хорошо известно, в этих условиях на дне образуется обширная размывка, которая приводит к выкапыванию котлована чуть выше и ниже плотины — *насыпной насыпи* и

выносу материалов на поверхность под котлованом. Такая тенденция была хорошо проиллюстрирована поведением воды при открытии плотины Ной-Хауфен ниже Вены (рис. 305 а). В случае льда материал со дна может быть вынесен восходящим течением на поверхность ледника у нижнего края уступа и, таким образом, образовать локальную поверхностную морену подковообразной формы с направлением, обычно поперечным направлению движения льда (рис. 305 б).

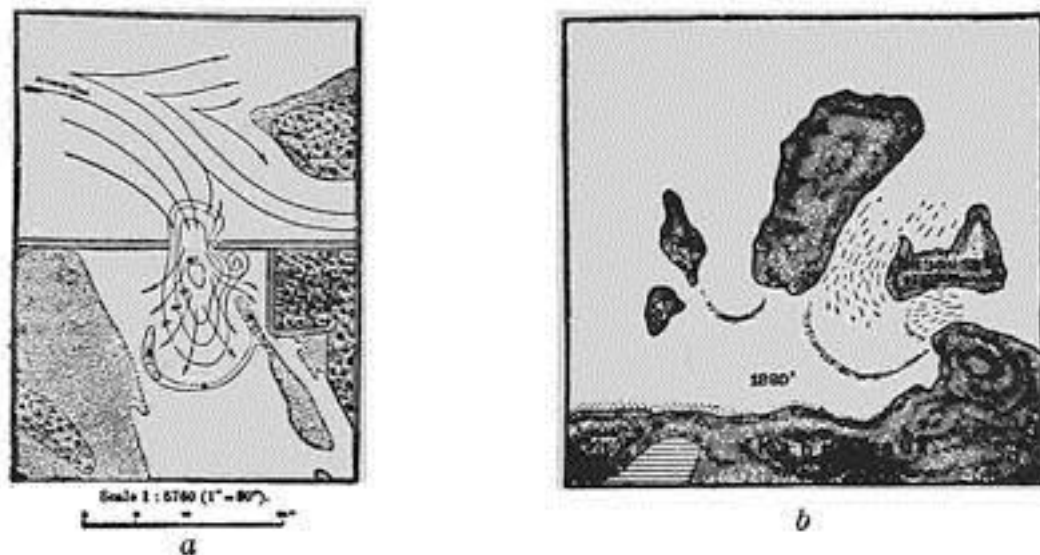


Рис. 305.—а, Карта, показывающая яму, вырытую течением ниже отверстия в плотине. б, Нунатаки и поверхностные морены на гренландском льду. Нунатаки Далагера (по Зюссу).

Любое препятствие на покрытии ледника, по-видимому, имеет большую или меньшую тенденцию поднимать валуны и гальку и встраивать их в лед. Отложения горных пород, включенные таким образом, описываются как *приледниковый дрейф*. В случае гренландских ледников этот материал, по-видимому, на фронте льда в значительной степени ограничен нижними 100 футами (фото 13 А).

Вблизи передней части внутреннего льда увеличенный уклон верхней поверхности значительно увеличивает течение верхних слоев льда по сравнению с теми, что ближе ко дну, так что верхние слои перекрывают нижние, поскольку они являются препятствием. Ледниковый дрейф происходит либо по этой причине, либо из-за каменных завалов, вынесенных на поверхность, где он образует параллельные гребни, соответствующие по направлению краю ледника. Таким образом, такие поперечные поверхностные морены во многих отношениях аналогичны тем, которые появляются по нижним краям скальных уступов. В отличие от морен продольной или медиальной поверхности, материалы поперечных морен более граненые и округлые — они были отшлифованы на ледниковом покрытии.

Таяние на краях ледников в Гренландии.—В течение короткого, но теплого летнего сезона границы гренландского льда подвергаются значительным потерям в результате поверхностного таяния. Когда самый верхний слой льда достигает температуры 32 ° по Фаренгейту, начинается таяние, которое быстро продвигается внутрь от края ледника. Поздней весной поверхность внешней пограничной зоны насыщается водой, и эта зона слякоти с течением времени продвигается внутрь, но, по-видимому, никогда не выходит за внутреннюю границу того, что мы обычно называем пограничной зоной льда, характеризующейся относительно крутыми склонами, расселинами и нунатаками. На льду в пределах этой зоны встречаются ручьи, достаточно большие, чтобы их можно было назвать

реками, и они соединены с бассейнами, озерами и болотами. Грязь и обломки камней, въевшиеся в лед, тают при опускании поверхности, так что в конце сезона лед выглядит наиболее грязным. В передней части великих горных ледников Аляски в результате более энергичного проведения того же процесса на поверхности образовалась почва, на которой растут такие густые леса, что они полностью маскируют присутствие льда под ними.

В дополнение к видимым потокам на поверхности гренландских льдов, есть и другие, которые текут под ними, и их можно услышать, приложив ухо к поверхности. Все поверхностные потоки в конечном итоге наталкиваются на краевые трещины и низвергаются вниз пенящимися каскадами, образуя хорошо известные “ледниковые колодцы” или “ледниковые мельницы”. Движение воды теперь происходит по туннелям во льду, пока она снова не появится на краю ледника.



Рис. 306. Краевая морена, которая в настоящее время формируется на краю внутреннего льда Гренландии, показывает гладкое скальное покрытие снаружи. Небольшое озеро с частичным покрытием из озерного льда занимает впадину в этом тротуаре (в честь фон Дригальски).

Краевые морены.—Изучение ледников как Гренландии, так и Антарктики показало, что, если мы не будем принимать во внимание более мелкие и кратковременные миграции ледяного фронта, общее последующее движение было ретроградным — мы живем в отступающем гемицикле оледенения. Более ранний гренландский ледник теперь отступил, обнажив большие участки бывшего ледникового покрытия. Местами это покрытие в значительной степени обнажено, что указывает на относительно быстрое отступление ледяного покрова, но во всех точках, где ледяной покров был остановлен, теперь обнаружен гребень из нерасчлененных горных пород, которые были сброшены льдом по мере его таяния (рис. 306). Такие гребни, состоящие из несортированных материалов, описанных как *тиль*, имеют гирляндное расположение, в основном концентрическое по отношению к кромке льда, и являются *краевыми* или *конечными моренами* (см. рис. 336, стр. 312). Окраинные морены, если они больших размеров, обычно имеют бугристую поверхность и, как правило, состоят из обломков горных пород широкого диапазона размеров - от каменной муки (глины) до крупных валунов (фото 17 А), которые могут представлять много типов, поскольку они были сорваны ледником или собраны на его поверхности во многих широко удаленных друг от друга местах.

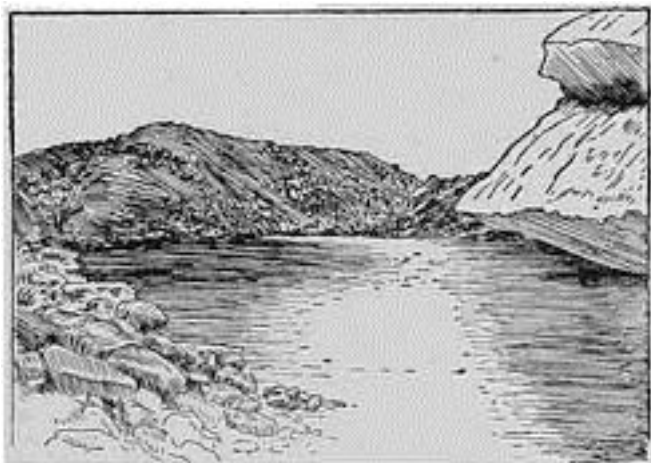


Рис. 307.— Небольшое озеро, образовавшееся между фронтом льда и недавно образовавшейся мореной. Гренландия (по фон Дригальски).

По мере того, как фронт ледника отступает от морены, которую он образовал, вода, выступающая из-под льда, скапливается за новой плотиной, образуя озеро в форме полумесяца (рис. 307). Такие озера особенно недолговечны по той причине, что вода находит выход над самой низкой точкой гребня морены и легко прорезает ущелье в рыхлых материалах, осушая таким образом озеро (рис. 308). После этого вытекающая вода извилистым потоком течет по позднему дну озера, а оттуда по дну ущелья через морену.

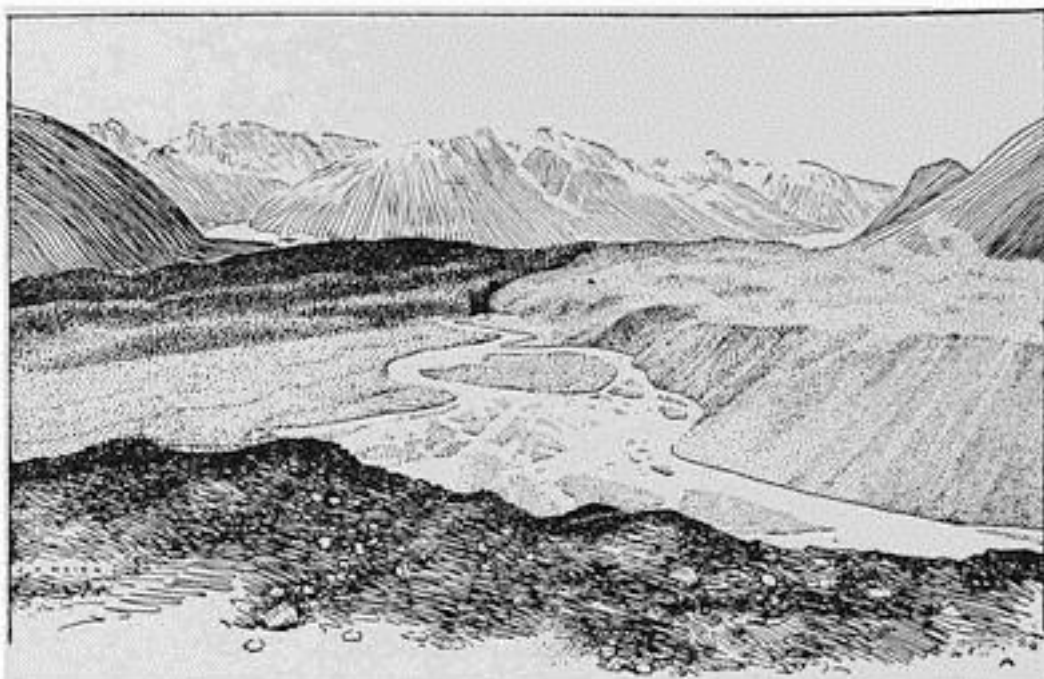


Рис. 308.— Вид осушенного дна озера между покрытым мореной ледяным фронтом на переднем плане и заброшенной краевой мореной на среднем расстоянии. Вода стекает с ледяного покрова извилистым потоком и выходит через морену в узкое ущелье. Ледник Пестрый, Аляска (в честь Лоуренса Мартина).

Полотнище для мытья посуды или фартук.—Вода, которая спускается с поверхности ледника в ледниковых колодцах или мельницах, в конечном итоге достигает дна, где она следует извилистым путем по туннелю, протаявшему во льду. Большая часть этой воды может выходить из-под ледяного покрова под грубыми скальными породами, которые там

находятся, и поэтому ее можно обнаружить скорее ухом, чем глазом. Вода внутри туннелей, текущая не по свободной поверхности, а замкнутая, как если бы она была в трубе, может, однако, достигать края ледника под гидростатическим давлением, достаточным для того, чтобы подниматься по более высоким склонам. Поскольку она сильно нагружена обломками горных пород и внезапно останавливается по прибытии к фронту, она откладывает свой груз у кромки льда, образуя равнины из различных песков и гальки, и по этой поверхности течет в постоянно меняющихся извилистых каналах плетеного типа (рис. 308). Такие равнины смыва ледника описываются как *смывные равнины* или *фартуки смыва*.

Поднимаясь под действием гидростатического давления, вода, выходящая из передней части ледника, может найти свой путь вверх в некоторых расщелинах и, таким образом, всплыть на уровне, значительно превышающем ледниковое дно. Таким образом, может получиться так, что пойменная равнина застроена вокруг носа ледника таким образом, чтобы частично скрыть его от посторонних глаз. Теперь, когда фронт льда начинает быстро отступать, за пойменной равниной и перед мореной, которая образуется в следующем месте привала, остается впадина или яма (рис. 309 и рис. 339, стр. 314).

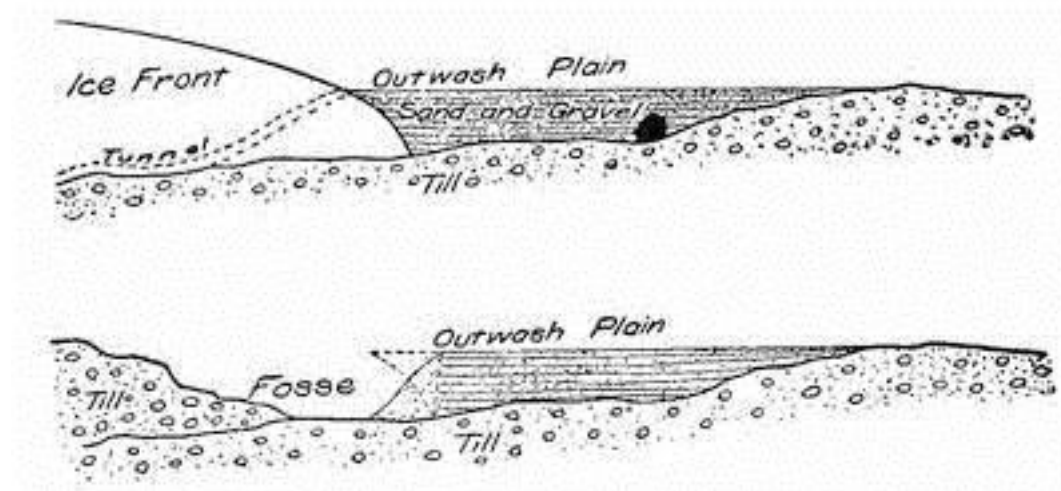


Рис. 309. Диаграммы, показывающие способ образования и структуру пойменной равнины, а также положение рва между ней и мореной.

Континентальный ледник Антарктиды.— На земле Виктории, на континенте Антарктида, насколько позволяют исследования, континентальный ледник сдерживается горным валом, как это было показано для внутренних льдов Гренландии. Было обнаружено, что такой же плоский купол или щит характерен и для его верхней поверхности (рис. 310).

Наиболее заметные различия между внутренними ледяными массивами Гренландии и Антарктиды следует объяснить большей суровостью антарктического климата и более обильным питанием южного ледника, измеряемым площадью суши, которую он затопил. Здесь нет пограничной полосы суши, как в Гренландии, но ледник покрывает всю сушу и, более того, простирается над морем в виде широкой плавучей террасы — шельфового льда (рис. 311). Этот барьер на его краю препятствует любому дальнейшему судоходству, поднимаясь, как это бывает в некоторых случаях, на высоту 280 футов над уровнем моря и опускаясь на еще большие глубины ниже (фото 15 В).

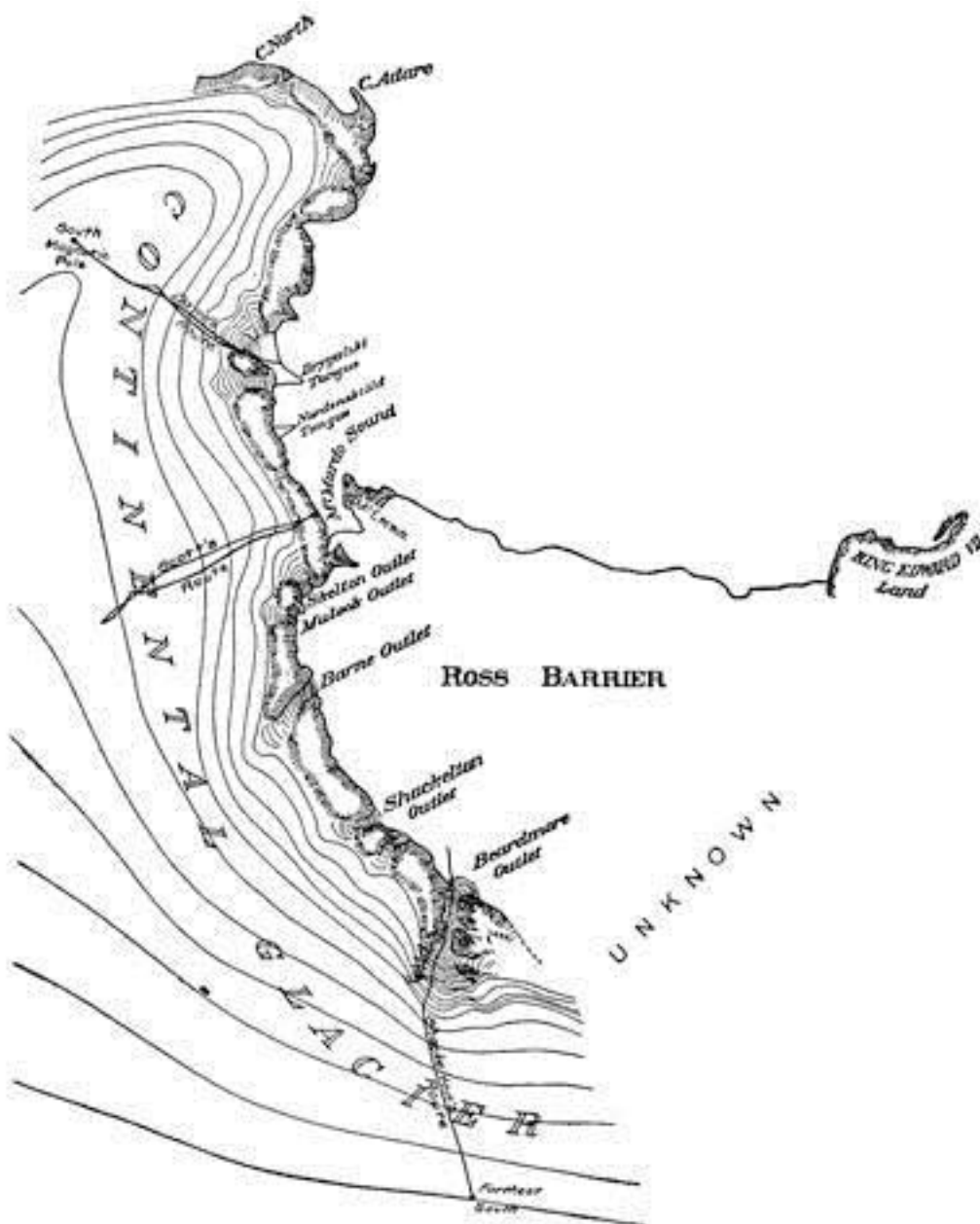


Рис. 310. Карта, показывающая внутренний лед Земли Виктория, ограниченный шельфовым льдом Большого барьера Росса. Стрелки показывают направление преобладающих ветров (на основе карт Скотта и Шеклтона).

В той части Антарктиды, которая была исследована немецкой экспедицией, внутренний лед не ограничен, как на Земле Виктория, скальными стенами, а растянут по континенту таким образом, что образует его естественные ледяные склоны, которые, следовательно, намного более плоские, чем те, которые исследованы в Гренландии и на Земле Виктория. Здесь, на Земле кайзера Вильгельма, лед поднимается у кромки моря утесом высотой от 130 до 165 футов, затем по довольно круто изгибающемуся склону на высоту, возможно, тысячи футов. Здесь уклоны стали относительно ровными, и на все более пологих склонах поверхность, по-видимому, продолжается вглубь (фото 14). Вблизи кромки льда многочисленные трещины свидетельствуют о движении массы, которое, по точным измерениям, составляет всего один фут в день, а на расстоянии мили с четвертью от кромки даже это незначительное значение уменьшилось на целых одну восьмую. Вряд ли можно сомневаться в том, что на умеренных расстояниях, только в пределах кромки льда, ледник практически неподвижен.

Табличка 14.



Вид на окраину антарктического континентального ледника на Земле кайзера Вильгельма (по Э. В. Дрыгальскому).

Поскольку в Антарктиде неизвестны дожди или общие условия таяния, она представляет собой разительный контраст с окраинной зоной Гренландского континента. Это в значительной степени объясняется существованием на севере суши прибрежной полосы, которая быстро нагревается под лучами солнца, и как за счет нагревания воздуха, так и за счет передачи тепла льду это вызывает таяние и создает местную температуру воздуха, которую летом можно даже назвать высокой. Около залива Индепенденс на 82 ° северной широты и недалеко от самой северной оконечности Гренландии Пири спустился с внутреннего льда в небольшую долину, в пределах которой лениво паслись овцебыки и где пчелы жужжали от цветка к цветку над великолепным ковром цветов.

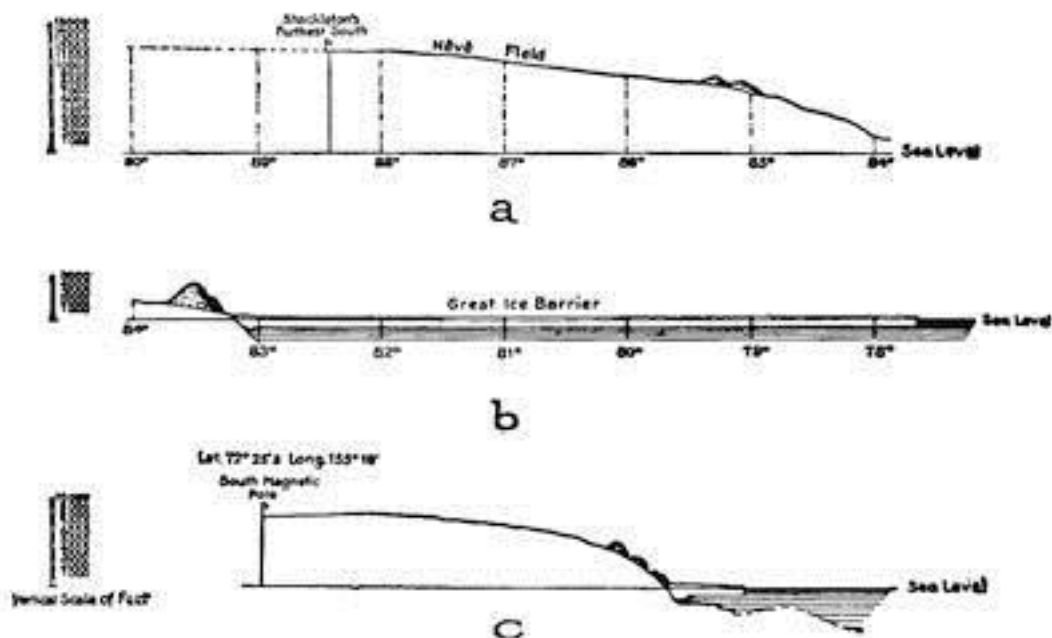


Рис. 311. Участки внутреннего льда Земли Виктория, Антарктида, с шельфовым льдом впереди (после Шеклтона).

Питание континентальных ледников.—Исследования на ледниках Гренландии и Антарктиды и около них показали, что циркуляция воздуха над этими обширными ледяными

щитами соответствует довольно простой и симметричной модели, подверженной скачкообразным пульсациям очень выраженного типа. Каждая огромная ледяная масса с ее атмосферным покровом представляет собой своего рода охлаждающий воздушный двигатель и играет важную роль в ветровой системе земного шара. (См. [Рис. 291](#), стр. 263). Как куполообразная поверхность, так и низкая температура ледника необходимы для продолжения этого пульсирующего движения в атмосфере ([рис. 312](#)). Воздушный слой, соприкасающийся со льдом, в период затишья охлаждается, сжимается и становится тяжелее, так что он начинает скользить вниз и наружу по куполообразной поверхности во всех направлениях. Чрезвычайная ровность большей части поверхности ледника — всего лишь на долю одного градуса — приводит к чрезвычайно медленному запуску двигателя, но, как и у всех тел, скользящих по наклонным плоскостям, скорость его движения быстро увеличивается, пока не разыграется снежная буря, сила которой не сравнится ни с какой другой.



Рис. 312. Диаграмма, показывающая природу неподвижного ледникового антициклона над континентальными ледниками и процесс формирования их поверхности.

Эффект таких центробежных воздушных потоков над ледником заключается в засасывании воздуха из верхних потоков, чтобы заполнить пустоту, которая вскоре имеет тенденцию образовываться над центральной частью ледникового купола. Этот нисходящий вихрь, подпитываемый направленными внутрь сильными потоками и отводимый направленными наружу поверхностными потоками, представляет собой то, что известно как *антициклон*, зафиксированный здесь центральным рельефом купола.

Воздух, который опускается в центральную колонну, нагревается за счет сжатия или адиабатически, точно так же, как нагревается воздух, который нагнетается в резиновую шину с помощью насоса. Влага, скопившаяся в перистых облаках, плавающих в самом верхнем слое конвективной зоны, уносится вниз в этом вихре и сначала плавится, а затем, в свою очередь, испаряется из-за адиабатического эффекта. Это плавление и испарение льда путем преобразования скрытого тепла в ощутимое в определенной мере противодействует адиабатическому повышению температуры внутри столба и, таким образом, замедляет его. В конце концов теплый воздух, насыщенный водяным паром, достигает поверхности льда, сразу охлаждается, и содержащаяся в нем влага осаждается в виде мелких снежных иголок, так называемого “морозного снега”, который в сочетании с резким повышением температуры выпадает в осадок по окончании метели.

Однако нагревание воздуха привело к как бы затуханию хода двигателя и, по мере продолжения процесса, к запуску обратного или восходящего потока в дымовой трубе антициклона. Таким образом, снежная буря внезапно заканчивается выпадением снега, который, превращая скрытую теплоту конденсации в ощутимую теплоту, имеет тенденцию увеличивать этот встречный поток.

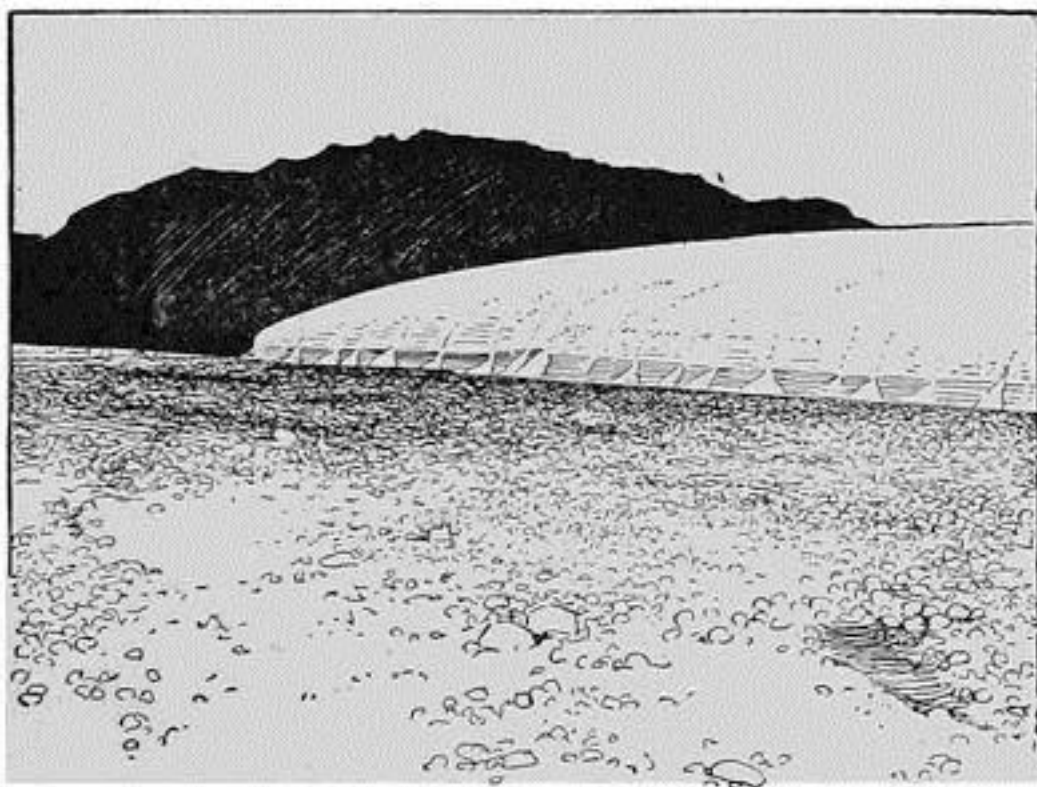


Рис. 313. Снежные дельты по краям выхода ледника Фан в Гренландии (после Чемберлина).

Ледниковая метла.—Во время затишья, которое сменяется снежной бурей, тепло еще раз отводится от приземного слоя воздуха, и начинается новый направленный наружу ход двигателя. Развивающаяся позже буря действует как гигантская центробежная метла, которая сметает к краям ледника все остатки последнего выпавшего снега, которые не успели прочно закрепиться на поверхности льда. Отложения, скопившиеся на окраинах континентальных ледников, были описаны как окаймляющие ледники, или ледниковая бахрома. Северное побережье Гренландии и Земля Гранта окаймлены полосой такого рода (фото 14 и рис. 315, стр. 288). Именно благодаря работе ледниковой метлы внутреннему льду придается характерная форма щита (рис. 312). Зернистый характер снега, переносимого ветром, хорошо виден по небольшим снежным дельтам на краях гренландских ледяных языков (рис. 313). Очевидно, что из-за присутствия мощного антициклона снег, такой как питающий горные ледники, не может выпадать на континентальные ледники, за исключением узкой пограничной зоны, и, как показал Нансен, каменная пыль с прибрежной полосы и нунатаков Гренландии разносится на несколько миль внутри западной окраины, а вовсе не внутри восточной.



Рис. 314.—Морской лед Арктического региона в широте. 80° 5 северной широты и протяженность. 2° 52 восточной долготы (в честь герцога Орлеанского).

Полевой и паковый лед.—В полярных регионах поверхность моря замерзает в течение длительного зимнего сезона, и этот продукт известен как *морской лед* или *полевой лед* (рис. 314). Этот ледяной покров может достигать толщины при непосредственном замерзании восьми или более футов, а при разрушении и скоплении выше и ниже соседних фрагментов может увеличиться до значительно большей толщины. Лед, скопившийся таким образом и более или менее раздробленный, описывается как *паковый лед* или *паковый лед*.

Стая не остается неподвижной, а постоянно дрейфует вместе с ветром и приливом, сначала в одном направлении, затем в другом, но с общим дрейфом в направлении преобладающих ветров. Из—за огромных размеров пакового массива ветры над широко разделенными участками могут быть противоположного направления, и, следовательно, когда течения дуют навстречу друг другу или когда лед прижимается к какой-либо территории суши, он локально дробится под сильным давлением и вытесняется в ряды *торосов* - так называемых *хребтов давления*. В другое время, когда ветры из широко разделенных районов дуют в разные стороны друг от друга, стая разделяется с образованием полос или *уступов* в открытой воде.

Если смотреть с высоты птичьего полета, линии торосов, согласно Нансену, были бы расположены подобно ячейкам сети, имеющим примерно квадратные углы и достигающим высоты от 15 до 25, редко 30 футов над общей поверхностью пачки. Лед внутри каждой ячейки сети представляет собой *льдину*, которая во время давления притирается к своим соседям и по-разному смещается в своем положении. На границе пака эти льдины отделяются и плывут в направлении более низких широт, пока не растают.

Дрейф стаи.—Открытие дрейфа в арктическом паке является романтической главой в истории полярных исследований и послужило примером веры в научные рассуждения и суждения, которые вполне можно сравнить с верой Колумба. Важной фигурой в этом более позднем открытии является норвежский исследователь Фритьоф Нансен, и в конечном достижении важную роль сыграла злополучная экспедиция *Жаннет*.

"*Жаннетта*", на борту которой находилась американская исследовательская экспедиция, была в 1879 году поймана стаей к северу от острова Врангеля (рис. 315), а два года спустя раздавлена льдами и затонула к северу от Новосибирских островов. В 1884 году различные предметы, включая список припасов, составленный рукой командира "*Жаннетты*", были подобраны в Джулианехабе недалеко от южной оконечности Гренландии, но на западной стороне мыса Прощания. Нансен, тщательно проверив факты, пришел к выводу, что найденные предметы могли попасть в Джулианехааб только дрейфуя в рюкзаке через полярное море, и что на транспортировку ушло самое большее пять лет. После отделения от стаи предметы, должно быть, унесло течением, которое направляется на юг вдоль восточного побережья Гренландии и, обогнув мыс Прощания, течет на север вдоль западного побережья. Было ясно, что если бы они прошли через пролив Смита, их неизбежно обнаружили бы на другом берегу Баффинова залива. В подтверждение этой точки зрения в Годтаабе, недалеко к северу от Джулианехаба (рис. 315), была найдена украшенная орнаментом аляскинская "метательная палка", которая, вероятно, была доставлена тем же путем. Более того, к берегам Гренландии достигает большое количество плавника, который явно прибыл с сибирского побережья, поскольку большее количество было получено из сибирской лиственницы.

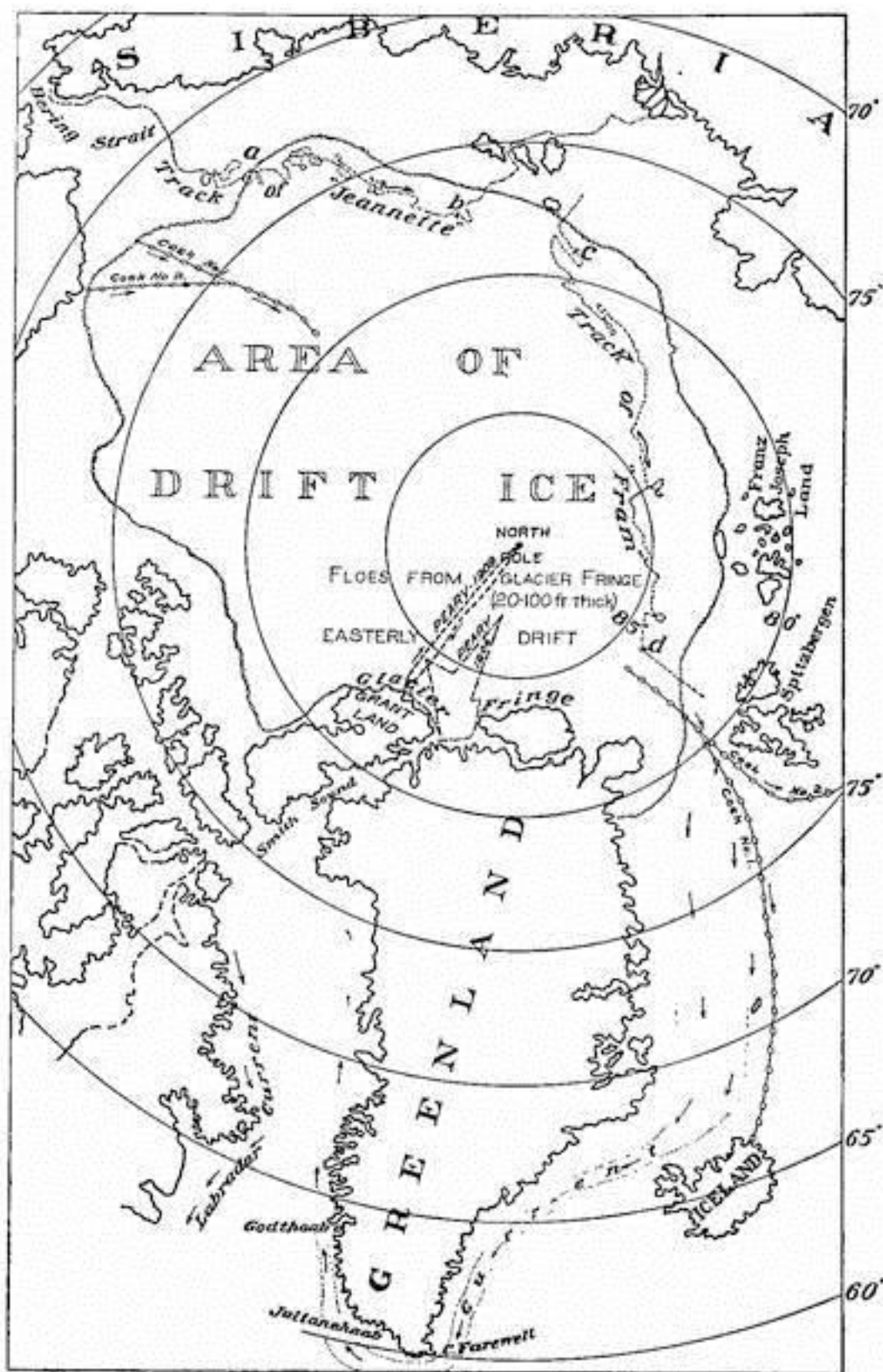


Рис. 315. Карта северных полярных областей с указанием площади дрейфующих льдов и следов "Жаннетты" и "Фрама" (составлена по различным картам).

Опираясь на эти неоспоримые факты, Нансен построил "Фрам" таким образом, чтобы противостоять огромному давлению паковых льдов и ускользать от них, снабдил его

провизией, которой хватило бы на пять лет, и, позволив судну вмерзнуть в паковые воды к северу от Новосибирских островов, он отдал себя и своих спутников на милость стихии. Миру известен этот результат как одно из самых замечательных достижений за долгую историю полярных исследований. След "*Фрама*", нанесенный на [рис. 315](#), рассматриваемый в связи с следом "*Жаннетты*", показывает, что арктическая пака дрейфует от Берингова моря на запад до северо-восточного побережья Гренландии.

Специальные бочки были в экспериментальных целях закреплены Мелвиллом и Брайантом во льду к северу от Берингова пролива, и две из них впоследствии были извлечены, одна возле мыса Нордкап на севере Норвегии, а другая на северо-востоке Исландии (см. Карту, [рис. 315](#)). Поездки Пири на север в 1906 и 1909 годах из окрестностей пролива Смита показали, что между Полюсом и берегами Гренландии и Земли Гранта дрейф на всем протяжении происходит в восточном направлении, что соответствует западному ветру. На этой границе огромная площадь арктических дрейфующих льдов соприкасается с большими континентальными ледниками, окаймленными кромкой ледника. Адмирал Пири показал, что паковый слой здесь состоит не из замерзшего морского льда, а из огромных льдин толщиной от 20 до 100 футов, которые образовались на краю ледника.

Всякий раз, когда снежные бури сдувают внутренний лед с юга, на краю кромки открываются отводы, которые могут вести полосы от последнего на север поперек отвода. При благоприятных условиях эти проходы могут быть закрыты толстым морским льдом, так что при наступлении встречных северных ветров они не полностью вернутся в свое первоначальное положение. Продолжение этого процесса, возможно, привело к образованию тяжелых льдин к северу от Гренландии, которые, действуя как препятствие, возможно, вынудили более тонкий дрейфующий лед удерживаться на европейской стороне арктического пака.

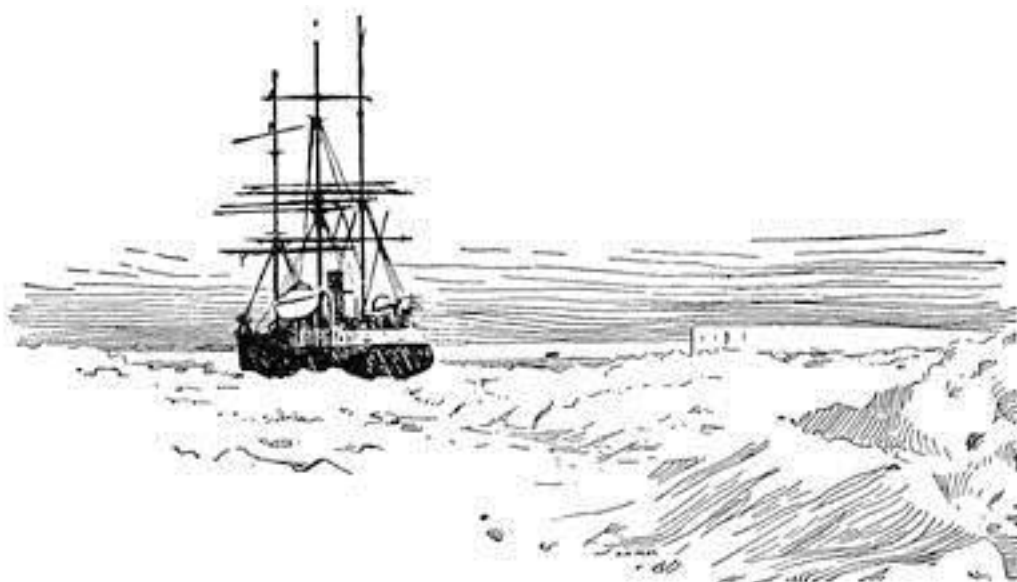


Рис. 316. Шельфовый лед Земли Коутса с окружающим паковым льдом на переднем плане (после Брюса).

Вокруг антарктического континента протянулся широкий пояс паковых льдов, которые, хотя и более медлительны в своих движениях, чем арктический пак, были продемонстрированы экспедициями *Бельгии* и *Пуркуой-Па*, что они обладают такими же подвижками. Весной на юге эта стая плывет на север и в значительной степени распадается и тает при достижении более низких широт.

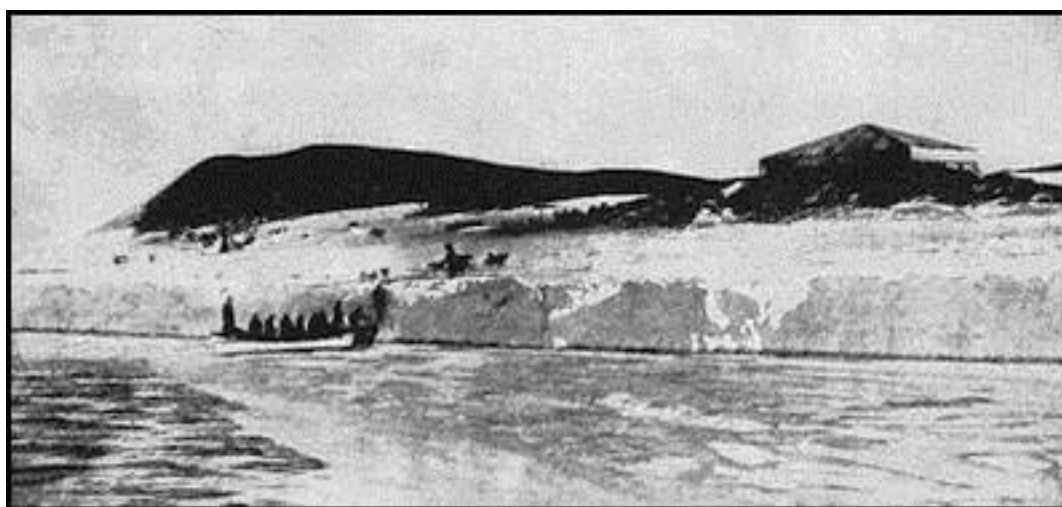


Рис. 317. Приливный утес в передней части языка ледника, из которого рождаются айсберги.

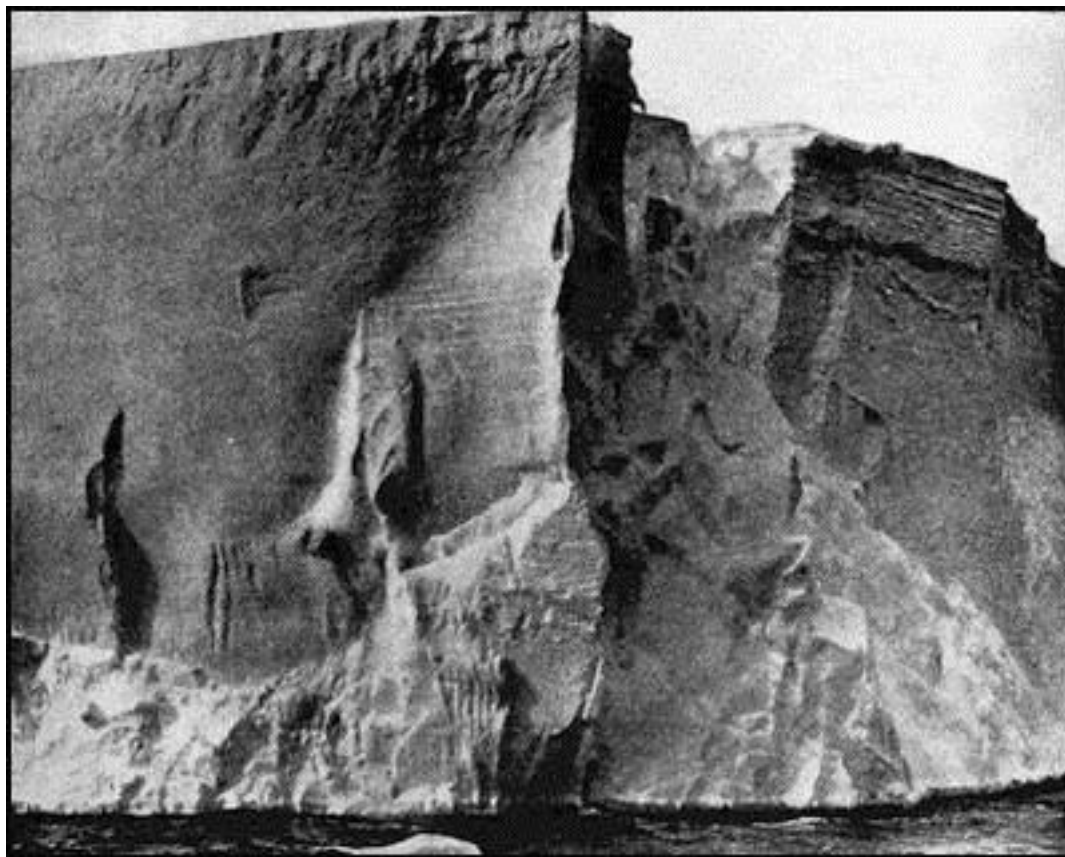
Шельфовый лед Антарктики.—Уже указывалось, что внутренний лед Антарктиды, по крайней мере частично, окружен толстой снежно-ледяной террасой, плавающей в море и возвышающейся над ним на высоту более 150 футов ([фото 15b](#) и [рис. 316](#)). Видимые участки этого шельфового льда состоят из слоистого плотного снега, а области, которые до сих пор были изучены, находятся в заливах, из которых смещение осуществить труднее. Считается, что источником шельфового льда является морской лед, который, поскольку его нелегко отделить во время весеннего “распада”, утолщается в последующие сезоны главным образом за счет осадения выпавшего снега на его поверхности, так что он прогибается под его тяжестью и погружается в воду на все большую глубину. Кроме того, в некоторой степени он питается на своей внутренней окраине за счет перелива ледяного покрова из внутренних ледяных массивов.

Айсберги и сноуберги и способ их появления.—Гренландия обнаруживает в характере своих долин признаки значительного опускания континента — извилистые заливы или фьорды, которыми так глубоко изрезано ее побережье. В верховьях этих фьордов языки внутреннего льда обычно опускаются до уровня моря и ниже. Таким образом, ледник подвергается непосредственному воздействию волн, а также тает в воде, так что во фьордах он заканчивается огромными ледяными утесами ([рис. 317](#)). Также считается, что он проходит под поверхностью воды в виде длинного пальца, опирающегося на дно ([рис. 319](#)).

Табличка 15.



А. Подножие антарктического льда с высадкой группы лодок (по имени Р. Ф. Скотта).



Б. Вид вблизи передней части Большого барьера Росса, Антарктида (в честь Р. Ф. Скотта).



Рис. 318. Гренландский айсберг после долгого путешествия в теплых широтах.

Выступающий утес изрезан волнами таким же образом, как и скалистый утес, и верхние части перекрывают нижние, так что через частые промежутки времени небольшие массы льда с этого фронта отделяются по трещинам и, переваливаясь, падают в воду с живописными всплесками. Такие маленькие айсберги, рождение которых часто можно увидеть на утесах перед Гренландским и Аляскинским ледниками, имеют мало общего с теми огромными плавучими островами изо льда, которые сносятся ветрами до тех пор, пока, потеряв лишь малую часть своих прежних размеров, не достигнут путей трансатлантических перелетов и не станут серьезной угрозой для судоходства (рис. 318).

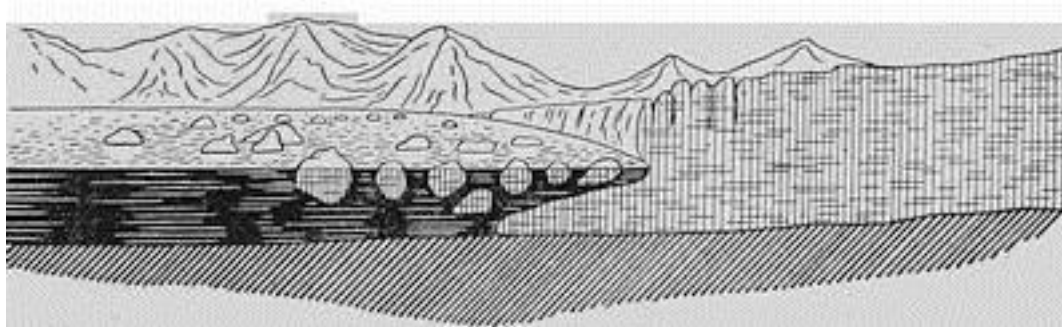


Рис. 319. Схема, показывающая один из способов, которым северные айсберги могут образовываться из языка ледника (по Расселу).

Северные айсберги больших размеров образуются либо в результате подъема отдельной части вытянутого мыса ледника, лежащего на дне фьорда, либо они целиком отделяются от самого утеса, по-видимому, там, где он достигает воды, достаточной глубины, чтобы всплыть на поверхность. В любом случае плавучесть морской воды играет большую роль в ее разделении.

Если исходить от затопленного мыса ледника (рис. 319), то громкий шум слышен еще до того, как видны какие-либо изменения, и мгновением позже огромная масса льда поднимается из воды на некотором расстоянии от утеса, поднимая при этом огромное количество воды, которая обрушивается во все стороны грохочущими каскадами и обнажает, наконец, айсберг глубочайшего сапфирово-синего цвета. Волнение, вызванное во фьорде, огромно, и судно, находящееся в непосредственной близости, подвергается опасности.

Иногда видно, как от ледяной скалы отделяются айсберги еще большего размера, в данном случае за мгновение до или одновременно с громким звуком, но такие айсберги уплывают со сравнительно небольшим волнением в воде.

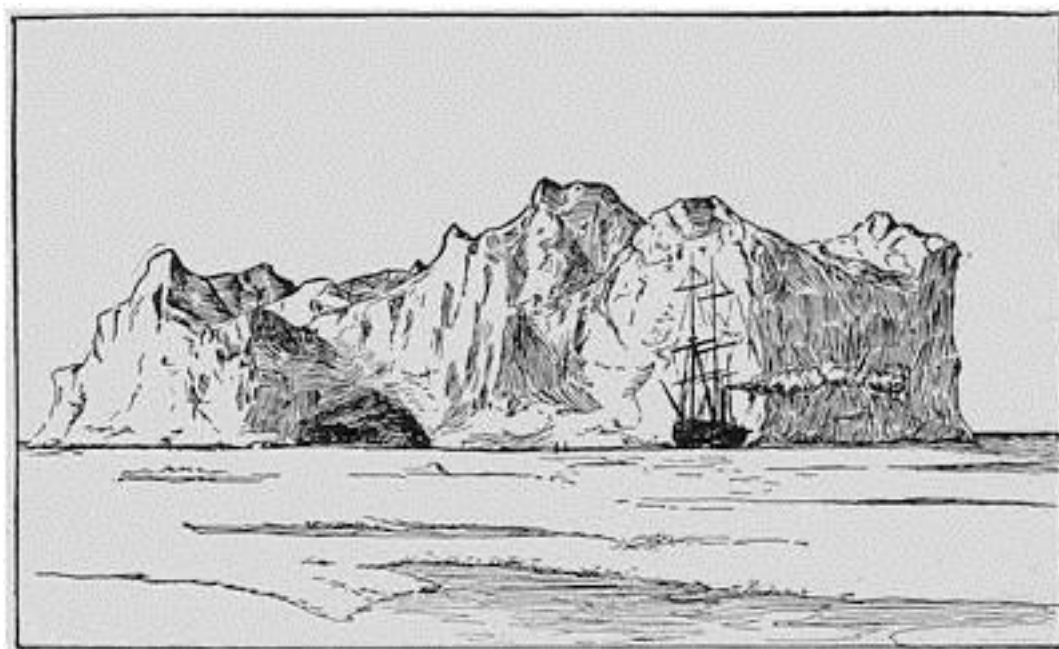


Рис. 320. Северный айсберг, окруженный морским льдом.

Айсберги южного полярного региона обычно построены в гораздо больших масштабах, чем айсберги арктических регионов, и, кроме того, имеют отчетливо табличную форму и ограничены прямоугольными очертаниями (рис. 321). В то время как большие айсберги

гренландского происхождения ледяные и голубого цвета, айсберги Антарктиды в виде таблиц лучше было бы описать как *сноуберги*, поскольку они ослепительно белые, а их видимые части представляют собой либо уплотненный снег, либо чередующиеся толстые слои плотного снега и тонкие ленты голубого льда, причем последний толще и обильнее к основанию. Все такие айсберги были образованы из шельфового льда, а не из самого внутреннего льда. Голубые айсберги, образовавшиеся из внутреннего льда, были описаны с единственной исследованной антарктической суши, на которой этот лед спускается непосредственно к морю.

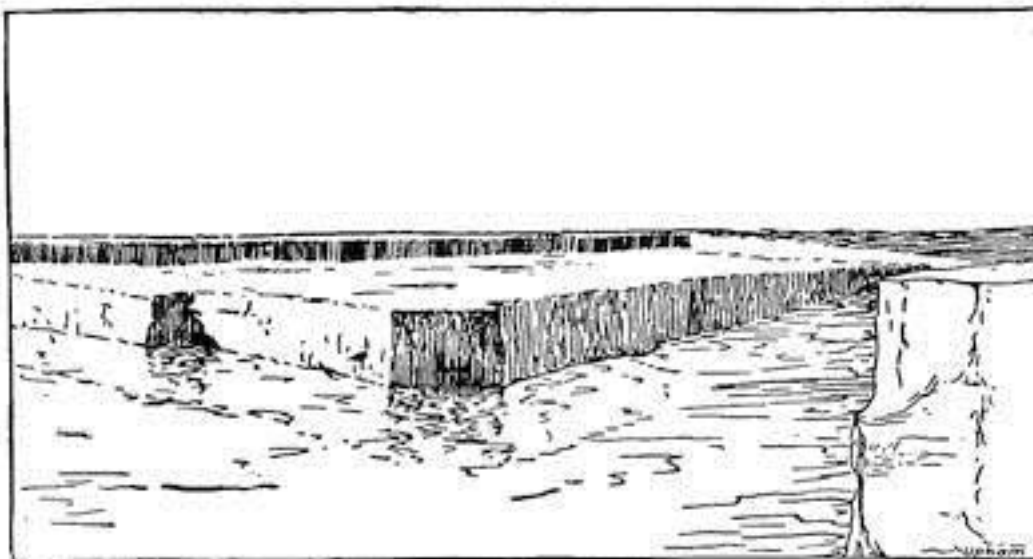


Рис. 321.— Табличный антарктический айсберг, отделяющийся от шельфового льда (после Шеклтона).

Как в северном, так и в южном полушариях айсберги, попавшие в более низкие широты, претерпели глубокие преобразования. Их открытые поверхности были расплавлены на солнце, омыты дождем и разбиты волнами, так что они утратили свои относительно простые формы, но приобрели округлые поверхности вместо ранних угловатых (Рис. 318, стр.291). Сэр Джон Мюррей, у которого была такая обширная возможность изучать южные айсберги с палубы "*Челленджера*", так описал их красоту:

Волны разбиваются о вертикальные поверхности плавучего ледяного острова, как о скалистый берег, так что на уровне моря они сначала превращаются в уступы и лощины, а затем в пещеры и каверны небесно-голубого цвета, откуда доносится оглушительный рев океана и куда можно увидеть, как белоснежные и другие буревестники пробиваются сквозь охрану из похожих на солдат пингвинов, стоящих у входов. Поскольку эти ледяные острова медленно сносятся ветром и течением на север, они наклоняются, поворачиваются и иногда опрокидываются, а затем погруженные зубцы и косы подбрасываются высоко в воздух, образуя айсберги неправильной формы, возможно, более высокие, чем первоначальная масса в форме стола”.

Список литературы для чтения к главам XX и XXI

Общесведения:—

И. К. Рассел. Ледники Северной Америки. Гинн, Бостон, 1897, стр. 210, стр. 22.

Чемберлин и Солсбери. Геология, том 1, стр. 232-308.

Х. Гесс. Die Gletscher, Braunschweig, 1904, pp. 426 (illustrated).

Уильям Х. Хоббс. Характеристики существующих ледников. Макмиллан, 1911, стр. 301, стр. 34.

Особые районы горных ледников:—

Джеймс Д. Форбс. Путешествует по Савойским Альпам и другим частям Пеннинской цепи с наблюдениями за феноменом ледников. Эдинбург, 1845, стр. 456, стр. 9, карты 2.

A. Penck, E. Brückner, et L. du Pasquier. Le système glaciare des alpes, etc., Bull. Soc. Sc. Nat. Neuchâtel, vol. 22, 1894, pp. 86.

E. Richter. Die Gletscher der Ostalpen. Штутгарт, 1888, стр. 306, 7 карт.

Джеймс Д. Форбс. Норвегия и ее ледники и т.д. Эдинбург, 1853, стр. 349, стр. 10, карта.

И. К. Рассел. Существующие ледники Соединенных Штатов, 5-я энн. Rept. U. S. Geol. Обзор., 1885, стр. 307-355, стр. 32-55; Ледники горы Ранье, 18-я энн. Респ. Геол. США. Обзор, 1898, стр. 349-423, стр. 65-82.

В. Х. Шерцер. Ледники Канадских Скалистых гор и Селкиркс, Смит. Продолжение к сообщению № 1692, Вашингтон, 1907, стр. 135, стр. 42.

Х. Ф. Рейд. Исследования ледника Мьюир, Аляска, нац. Геогр. маг., т. 4, 1892, с. 19-84, стр. 1-16.

И. К. Рассел. Ледник Маласпина, журнал. Геол., том 1, 1893, стр. 219-245.

Г. К. Гилберт. Экспедиция Гарримана на Аляску, том 3, "Ледники", 1904, стр. 231, стр. 37.

У. М. Конвей. Восхождения и исследования в Гималаях Каракорума, Карты и научные отчеты, 1894 год, листы карт I-II.

Фанни Буллок Воркман и Уильям Хантер Воркман. Ледник Испар, География. Журнал., том 35, 1910, стр. 105-132, 7 стр. и карта.

Цикл оледенения:—

Уильям Х. Хоббс. Цикл горного оледенения, География. Jour., vol. 36, 1910, pp. 146-163, 268-284.

Верхняя и нижняя облачные зоны атмосферы:—

Р. Ассманн, А. Берсон и Х. Гросс. Wissenschaftliche Luftfahrten ausgeführt vom deutschen Verein zur Förderung der Luftschiffahrt in Berlin, 1899-1900, 3 vols.

Э. Голд и У. А. Харвуд. Современное состояние наших знаний о верхних слоях атмосферы, полученных при использовании воздушных змеев, воздушных шаров и аэростатов-пилотов, Репт. Брит. Доц. Адв. наук., 1909, стр. 1-55.

У. Х. Мур. Описательная метеорология, Эпплтон, Нью-Йорк, 1910, стр. 95-136.

Уильям Х. Хоббс. Плейстоценовое оледенение Северной Америки, рассматриваемое в свете наших знаний о существующих континентальных ледниках, Булл. Am. Geogr. Soc., т. 42, 1911, с. 647-650.

Континентальный ледник Гренландии:—

F. Nansen. Первое пересечение Гренландии, 2 тома, Лонгманс, Лондон, 1890 (научные результаты содержатся в приложении к тому 2, стр. 443-497).

Р. Э. Пири. Разведка внутренних льдов Гренландии, Журнал Географии. Соч., т. 19, 1887, с. 261-289; Путешествия по Северной Гренландии, География. Jour., vol. 11, 1898, pp. 213-240.

Т. К. Чемберлин. Исследования ледников в Гренландии, журнал. Геол., т. 2, 1894, с. 649-668, 768-788, т. 3, стр. 61-69, 198-218, 469-480, 565-582, 668-681, 833-843, т. 4, с. 582-592, 769-810, т. 5, с. 229-245; Недавние ледниковые исследования в Гренландии (обращение президента), Бюлл. Геол. соц. Ам., том 6, 1895, стр. 199-220, стр. 3-10.

Р. С. Тарр. Край ледника Корнелл, Am. Geol., том 20, 1897, стр. 139-156, стр. 6-12.

Р. Д. Солсбери. Гренландская экспедиция 1895 года, журнал. Геол., т. 3, 1895, с. 875-902.

Е. В. Дрыгальский. Grönland Expedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1891-1893, Berlin, 1897, 2 vols., pp. 551 and 571, pls. 53, maps 10.

Уильям Х. Хоббс. Характеристики внутренних льдов арктических регионов, Сборник научных трудов, том 49, 1910, стр. 57-129, стр. 26-30.

Континентальный ледник Антарктики:—

Р. Ф. Скотт. Путешествие на "*Дискавери*". Лондон, 2 тома, 1905.

Э. Х. Шеклтон. Сердце Антарктики. Лондон, 2 тома., 1910.

E. von Drygalski. Zum Kontinent des eisigen Südens, Deutsche Südpolar-Expedition, Fahrten und Forschungen des "Gauss", 1901-1903, Berlin, 1904, pp. 668, pls. 21.

Отто Норденшельд и Й. С. Андерссон. Антарктида, или два года среди льдов Южного полюса. Лондон, 1905, стр. 608, иллюстрированный.

E. Philippi. Ueber die fünf Landeis-Expeditionen, etc., Zeit. f. Gletscherk., vol. 2, 1907, pp. 1-21.

Питание континентальных ледников:—

Уильям Х. Хоббс. Характеристики внутреннего льда арктических регионов, Proc. Am. Phil. Soc., том 49, 1910, стр. 96-110; Массы льда на Антарктическом континенте и вокруг него, Zeit. f. Gletscherk., том 5, 1910, стр. 107-120; Характеристики существующих ледников. Нью-Йорк, 1911, стр. 143-161, 261-289. Плейстоценовое оледенение Северной Америки, рассматриваемое в свете наших знаний о существующих континентальных ледниках, Bull. Am. Geogr. Soc., т. 43, 1911, с. 641-659.

Полевой и паковый лед:—

Эмма де Лонг. Путешествие *Жаннетты*, корабельные и ледовые дневники Джорджа У. де Лонга и др. Берлин, 1884, 2 тома., схема в конце тома 1.

Роберт Э. Пири. Открытие Северного полюса (для получения дополнительных ссылок как на морские, так и на паковые льды, а также на антарктический шельфовый лед, обратитесь к книге Хоббса "Характеристики существующих ледников", стр. 210-213, 242-244).

Айсберги:—

Уивилл Томсон. Отчет Челленджера, Повествование, том 1, 1865, Часть i, стр. 431-432, см. B-D.

И. К. Рассел. Экспедиция на гору Святого Ильи, нац. Geogr. Mag., vol. 3, 1891, pp. 101-102, fig. 1.

Х. Ф. Рид. Исследования ледника Мьюир, Аляска, *там же.*, том 4, 1892, стр. 47-48.

E. von Drygalski. Гренландская экспедиция и др., том 1, стр. 367-404.

М. К. Энгрелл. Ueber die Entstehung der Eisberge, Zeit. f. Gletscherk., vol. 5, 1910, pp. 112-132.

ГЛАВА XXII

КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ЛЕДНИКИ “ЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА”

Более ранние циклы оледенения.—Наше изучение горных пород, составляющих самую внешнюю оболочку литосферы, говорит нам о том, что по крайней мере в три широко разделенных периода своей истории земля проходила через циклы оледенения, в течение которых значительные участки ее поверхности были погружены под континентальные ледники. Последний из них произошел во вчерашнем дне геологии и часто упоминается как “ледниковый период”, потому что до недавнего времени предполагалось, что он был единственным, о котором сохранились записи.

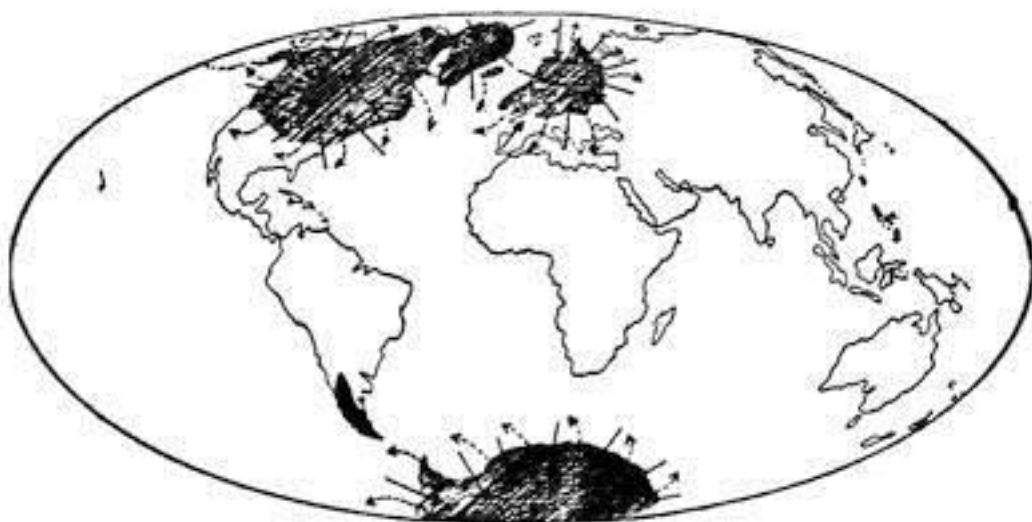


Рис. 322. Карта земного шара, показывающая области, которые были покрыты континентальными ледниками так называемого “ледникового периода” периода плейстоцена. Стрелками показаны направления центробежных воздушных потоков в неподвижных антициклонах над ледниками.



Рис. 323. Оледеневшая гранитная чаша, выветрившаяся из морены пермо-каменноугольного возраста, на которой она покоится. Южная Австралия (в честь Ховчина).

Этот последний ледниковый период представляет собой четыре полных цикла оледенения, поскольку считается, что континентальный лед образовался, а затем полностью исчез в период мягкого климата, прежде чем на его месте образовался следующий ледник, и что эта смена климатов повторялась не менее трех раз, составляя всего четыре цикла. Почти или почти в одно и то же время ледяные массы образовались на севере Северной Америки и в северной Европе, причем рельефы ледяных куполов расположены в Канаде и Скандинавии соответственно (рис. 322). По—видимому, в это время в южном полушарии не было обширного оледенения, хотя в следующий, более ранний из известных великих периодов оледенения - так называемый пермо-каменноугольный — пострадало именно южное полушарие, а не северное (рис. 323 и рис. 304, стр.276). По еще более раннему ледниковому периоду наши данные, естественно, гораздо более скудны, но представляется вероятным, что он характеризовался оледенением территорий как в северном, так и в южном полушариях.



Рис. 324. Карта, показывающая оледенелые и неоледенелые регионы Северной Америки (после Солсбери и Этвуда).

Контраст оледенелых и неоледенелых регионов. Поскольку мы вкратце изучили характеристики существующих континентальных ледников, мы можем рассмотреть свидетельства существования бывших ледников, свидетельства о которых существуют в виде их резьбы, надгробий и отложений.

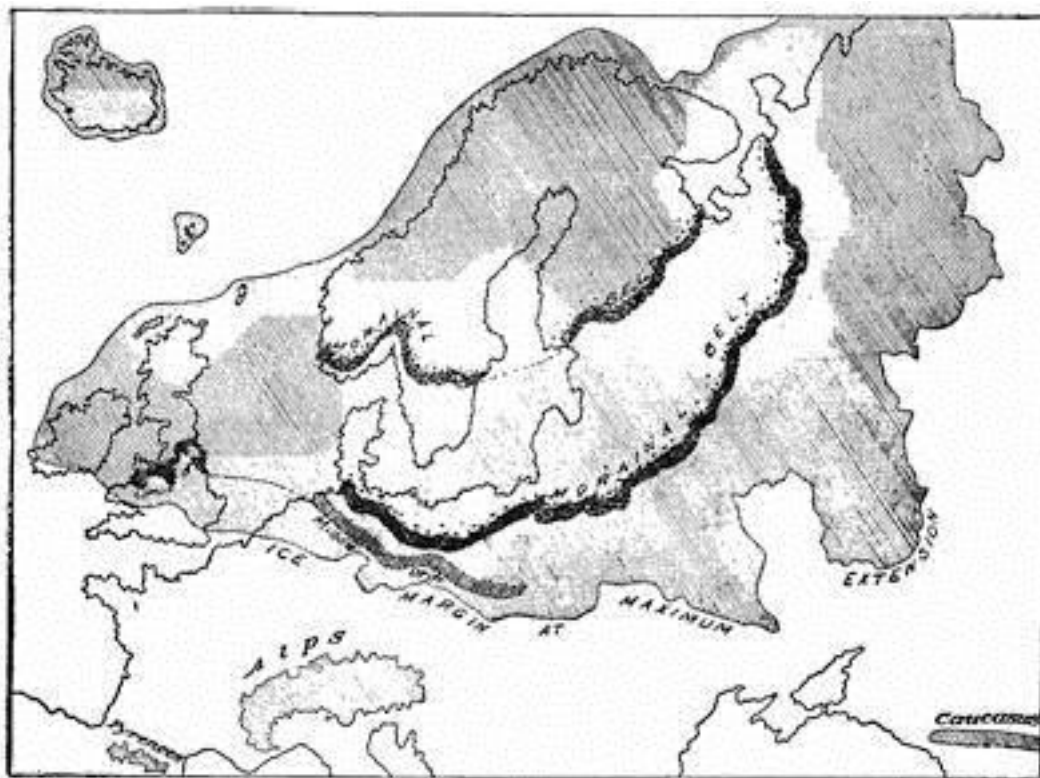


Рис. 325. Карта оледенелых и негляциальных областей северной Европы. Четко обозначенные моренные пояса соответственно к югу и северу от Балтийской впадины представляют собой места остановки последнего континентального ледника (составлены по картам Пенка и Леверетта).

Наблюдательный человек, знакомый с особенностями природы как северной, так и южной частей центральной и восточной части Соединенных Штатов, должен был заметить, что общие русла рек Огайо и Миссури определяют несколько выраженную общую границу территорий, которые во многих отношениях резко контрастируют (рис. 324). Едва ли менее разителен контраст между оледеневшими и незаледеневшими регионами на европейском континенте (рис. 325).

Именно в северной из двух областей в каждом случае обнаруживаются характерные признаки оледенения, в то время как к югу от общей границы такие следы полностью отсутствуют. В пределах американского оледенелого региона, однако, есть область, окруженная наподобие острова, и в пределах этого района (рис. 324) не обнаружено ни одного из признаков, характерных для оледенения. Этот район обычно называют “зоной без дрейфа”, и он занимает части штатов Висконсин, Иллинойс, Миннесота и Айова. Даже лучше, чем область к югу от рек Огайо и Миссури, она позволяет сравнить незасушливый регион с покрытым дрейфом.

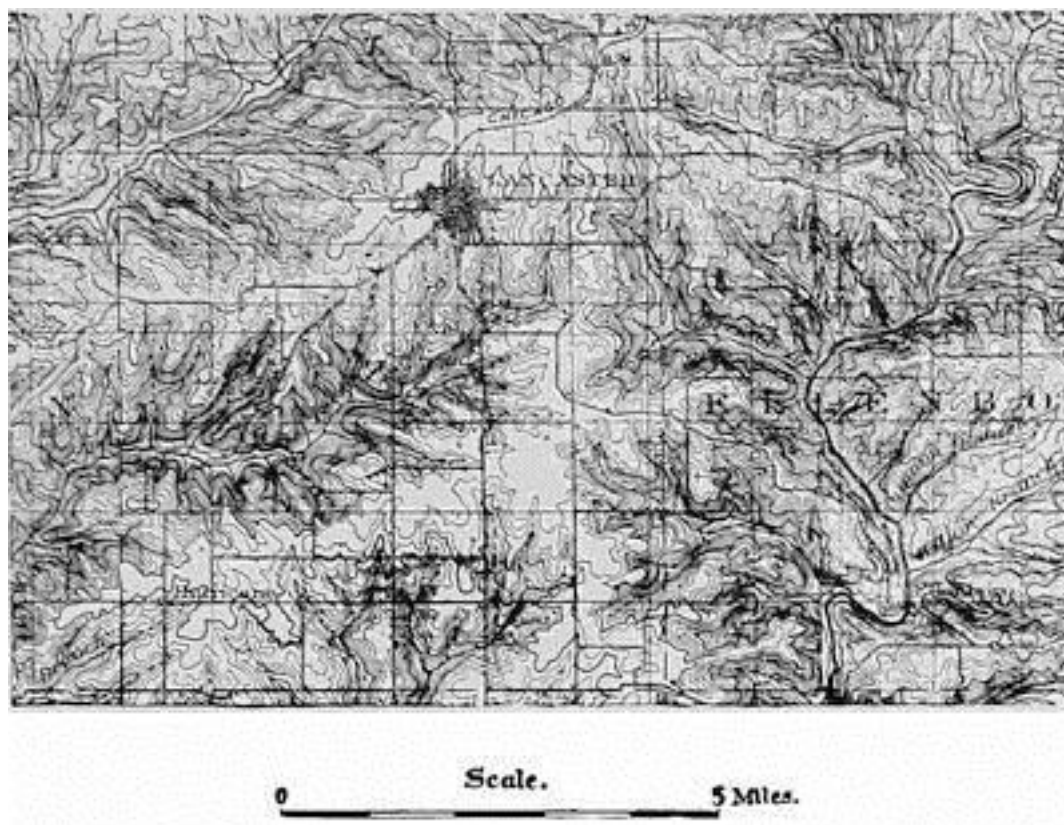


Рис. 326. — “Стенд-рок” возле “Лощин” реки Висконсин, неустойчивый эрозионный остаток, характерный для зоны без дрейфа в Северной Америке (после Солсбери и Этвуда).

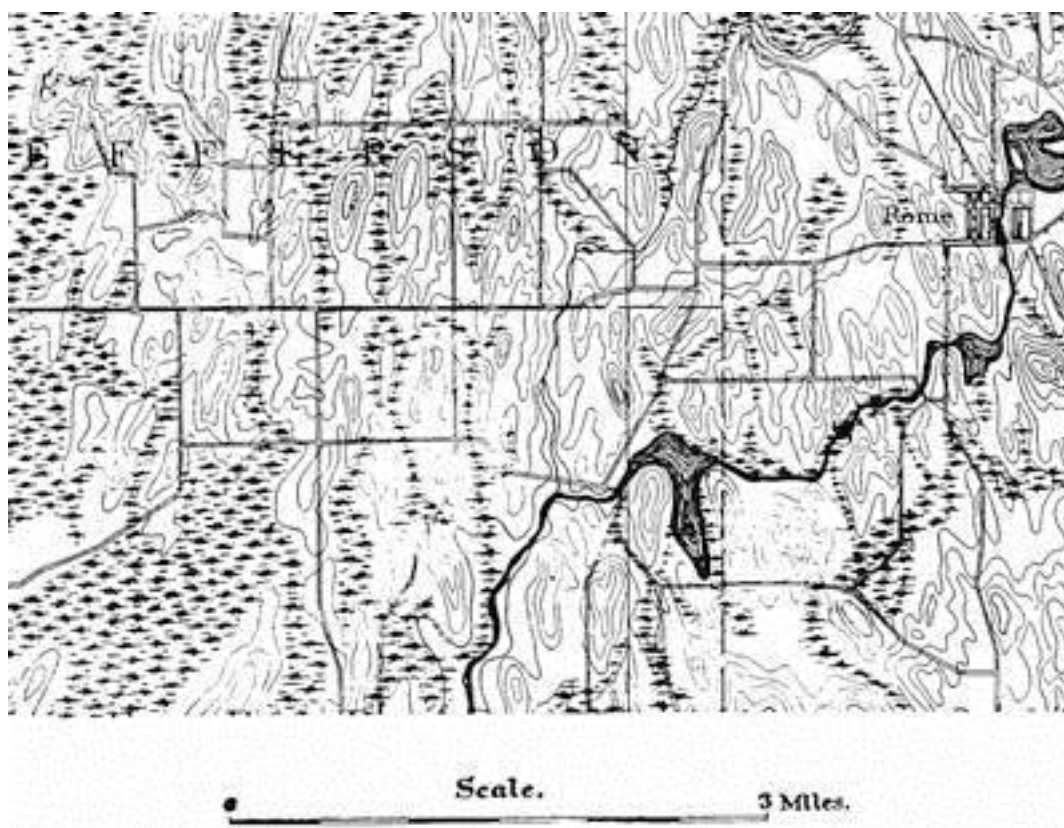
“Территория без дрейфа”. Таким образом, в пределах этого района мы сохранили для нашего исследования ландшафт, который в основном остается таким, каким он был до того, как несколько ледяных нашествий так глубоко изменили общую поверхность окружающей страны. В целом, мы можем сказать, что она представляет собой приподнятую и частично расчлененную равнину, которая на юге и востоке особенно ярко демонстрирует характер почти зрелой речной эрозии (Рис. 177, стр. 170). Поверхность скалы здесь повсюду покрыта разложившимися остатками породы местного происхождения. Растворимые компоненты породы, такие как карбонаты, были удалены в процессе выщелачивания, так что глины больше не шипучие при обработке разбавленной минеральной кислотой.

Везде, где имеются сочленения и чередование слоев твердых и мягких пород, могут рельефно выделяться живописные неустойчивые остатки эрозии или “дымоходы” (рис. 326). Кроме того, территория без дрейфа на всем протяжении идеально дренирована — здесь нет озер или болот, — поскольку все долины характеризуются высокими уклонами. Боковые долины переходят в главные долины, как и ветви ствола дерева; другими словами, дренаж описывается как древовидный. Поскольку какие-либо участки плоской поверхности теперь остаются в ландшафте, они находятся на самых высоких уровнях (фото 16а). Топография, таким образом, является результатом частичного удаления в результате эрозии возвышенности и может быть описана как *изрезанная топография*. Нигде в пределах района не обнаружены горные массивы, чуждые данному региону, но все породы мантии являются продуктом выветривания нижележащих уступов.

Табличка 16.



А. Рельеф местности в пределах "зоны без дрейфа" (Геологическая съемка США.).



Б. Застроенная топография в пределах оледенелого региона (Геологическая съемка США.).

Характеристика оледенелых регионов.—Топография участка без дрейфа была описана как *изрезанная*, потому что из-за частичного разрушения поднятой равнины эта поверхность, кроме того, идеально дренирована. Характерная топография областей “дрейфа”, напротив, *застроена*; иными словами, особенности региона вместо того, чтобы быть *вырезанными* на равнине, являются результатом *формования* в процессе осаждения (фото 16b). Насколько можно распознать плоскость, ее следует искать не на самом высоком, а на самом низком уровне — поверхности, представленной в основном болотами и озерами, — и над этой равниной возвышаются характерные округлые холмы различных типов, которые были *созданы* в результате отложений. Процесс, с помощью которого это было достигнуто, легко понять. Вторгаясь в регион, ледник выстругал под своей краевой зоной все выветрившиеся породы мантии и отложил выстругивания во впадинах поверхности (рис. 327). В результате были сглажены ранее существовавшие неровности поверхности и сначала получилась слегка волнистая равнина, на которой много незадренных участков и беспорядочная система дренажа (рис. 328). Все нестабильные остатки эрозии, такие, как сейчас, которые можно найти в районе без дрейфа, были первыми, кто был опрокинут вторгшимся ледником, и на их месте остались в лучшем случае только округлые и отполированные “плечи” твердой и не подверженной выветриванию породы — хорошо известные *рош-мутонне*.

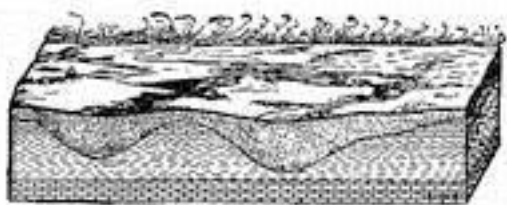


Рис. 327.—Диаграмма, показывающая, каким образом континентальный ледник стирает существующие долины (после Тарра).

Гравировка на леднике.—Инструменты, с помощью которых работает ледник, никогда не имеют достаточно ровных краев, и вместо идеальной полировки во всех отношениях на каменном покрытии остаются борозды, выбоины и царапины. Как бы то ни было, эти зарубки указывают на линии движения льда и, таким образом, являются несомненными записями, выгравированными на скальном дне. При нанесении на карту обширных территорий нашему взору представляется наиболее интересная картина, которая важным образом дополняет исследования существующих континентальных ледников (рис. 334, стр.308 и рис. 336, стр. 312).

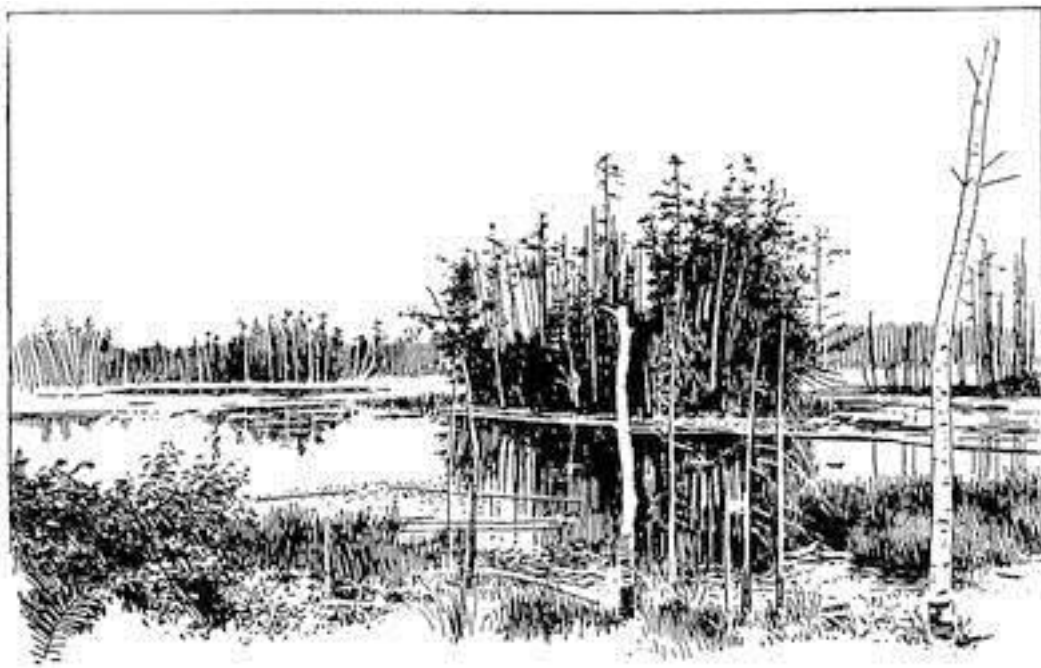


Рис. 328. Район озер и болот в северном Висконсине, влияние ледниковых отложений в бывших долинах (после Фэрбенкса).

Принято было думать, что ледник повсеместно размывает свое ложе, хотя единственное основание для предположения о деградации льда под действием течения ограничено маргинальной зоной, поскольку только здесь имеется заметный уклон поверхности, который может вызвать течение. Как при наступлении, так и снова при отступлении ледника, этому действию должны подвергаться все части перекрытой территории. Предполагалось, что обширные ледяные мантии, которые до сих пор представлялись в воображении в виде увеличенных моделей альпийских ледников, распространились по всей стране в результате некоего вязкого потока, подобного потоку патоки, разлитой по плоской поверхности в холодную погоду. Предполагалось, что максимальная толщина последнего американского ледника ледникового периода составляла, возможно, 10 000 футов вблизи вершины его купола в центральном Лабрадоре. С этого момента предполагалось, что лед продвинулся на юг вверх по северному склону Лаврентийского водораздела в Канаде, а оттуда к реке Огайо, на расстояние более 1300 миль. Если такую ледяную мантию изобразить в ее естественных пропорциях в вертикальном разрезе, то для покрытия расстояния от центра до края мы можем использовать линию длиной шесть дюймов и толщиной всего $\frac{1}{100}$ дюймов. В уменьшенном масштабе эти пропорции приведены на [рис. 329](#). Очевидно, что сила тяжести, действующая внутри вязкой массы таких пропорций, была бы неспособна осуществить перемещение материала от центра к периферии, даже если бы толщина была удвоена или утроена. Однако до тех пор, пока не был доказан неподвижный ледниковый антициклон над ледником и не была признана его эффективность в качестве метлы, никакая другая гипотеза, кроме гипотезы вязкого течения, не была предложена для объяснения. Унаследованная концепция универсального выщипывания и истирания дна ледника, таким образом, становится несостоятельной и может быть принята только для краевой части.

Рис. 329. Поперечный разрез в приблизительных естественных пропорциях позднейшего североамериканского континентального ледника плейстоценового возраста от его центра до окраины.

На камнях видны не только линии движения льда, но и направления движения, которые часто можно прочесть на камне. Везде, где на дорожном покрытии все еще имеются ярко выраженные неровности поверхности, обычно обнаруживается, что они имеют постепенные уклоны с той стороны, с которой сошел лед, и относительно крутые спуски с подветренной или “отвесной” стороны. Если, однако, мы рассмотрим неровности меньшего размера, то обнаружим, что несимметричные склоны этих выступающих частей дна поменялись местами — это крутой склон, обращенный к надвигающемуся льду, и более пологий склон, расположенный с подветренной стороны. Такие незначительные выступы на полу обычно возникают из-за какого-нибудь более твердого выступа, который отклоняет абразивные инструменты и заставляет их проходить, некоторые с одной, а некоторые с другой стороны. В результате этого процесса вокруг конкреции образуется канавка в форме скобки, оставляющая внутри несимметричный приподнятый гребень, который является крутым со стороны штока и слегка отклоняется в подветренную сторону.

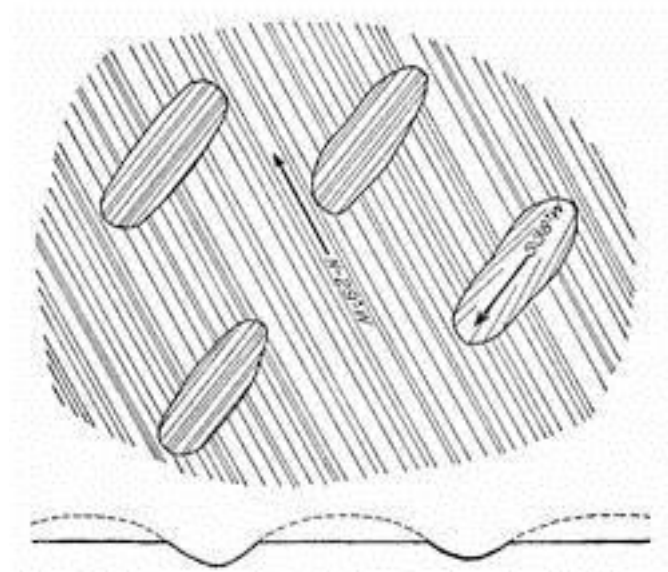


Рис. 330. Поверхность известняка в Сибли, Мичиган.

Более молодые записи, чем более старые — ледниковый палимпсест.—Многие важные исторические факты были восстановлены из в значительной степени стертых надписей на древних палимпсестах, или пергаментях, на которых более ранние записи были намеренно стерты, чтобы освободить место для других. В надписях на ледниковом покрытии более ранние записи также были в значительной степени стерты более поздними, хотя в благоприятных местах их можно прочесть вместе. Так, в качестве примера, на больших известняковых карьерах Сибли, на юго-востоке Мичигана, покрытая льдом поверхность скалы, где бы она ни была очищена от наносового покрова, представляет собой гладко отполированный и относительно ровный пол с бороздками, направленными с запада на северо-запад. Однако под этой общей поверхностью имеется ряд эллиптических впадин, более длинные оси которых направлены с юго-юго-запада, причем одна из них имеет длину от двадцати пяти до тридцати футов и глубину около десяти футов (рис. 330). Эти впадины в форме лодки, очевидно, являются остатками более ранней, более волнистой поверхности, которую последний ледник в значительной степени выровнял, поскольку дно впадин покрыто не менее совершенным оледенением, но их борозды в целом направлены вблизи более длинной оси впадин. Подобно палимпсесту, здесь также есть записи о более чем одном захоронении.



Рис. 331. Карта, показывающая обнажения особых типов горных пород в районе Великих озер и некоторые местности, где была собрана “плавающая медь” (места добычи плавающей меди после Солсбери).

Распространение дрейфа.— Задолго до того, как в умах Агассиса и его современников зародился “ледниковый период”, было замечено, что по северогерманской равнине были разбросаны округлые обломки скалы, которые, возможно, не происходили из их собственных окрестностей, но которые могли быть сопоставлены с огромными массивами красного гранита в Швеции, хорошо известного как “шведский гранит”. Английский геолог Бакленд в 1815 году объяснил наличие таких “неустойчивых” глыб в его собственной стране, здесь из шотландского гранита, ссылаясь на Ноев потоп; но в конце тридцатых годов девятнадцатого века сэр Чарльз Лайелл, имея в виду результаты английских исследователей Арктики, заявил, что такие перемещенные глыбы были перенесены айсбергами, пришедшими из полярных регионов. Пережиток более ранней точки зрения Бакленда мы видим в слове “дилювий”, которое до сих пор иногда используется в Германии для обозначения материалов, перенесенных ледником; в то время как термин “дрейф” все еще остается в обиходе, напоминая о гипотезе Лайелла об айсбергах, хотя первоначальное значение термина было оставлено. Дрейф в настоящее время является общим термином и относится ко всем отложениям, прямо или косвенно относящимся к континентальным ледникам.

В общем, можно сказать, что местом образования ледникового заноса является какая-то точка, более удаленная от бывшей кромки льда и находящаяся в пределах нее во время его отложения; другими словами, распространение заноса было центробежным по отношению к леднику.



Рис. 332. Карта “поезда боулдеров” из Айрон—Хилла, Р.И. (основана на карте Шалера, но с добавлением направлений ледниковых борозд).

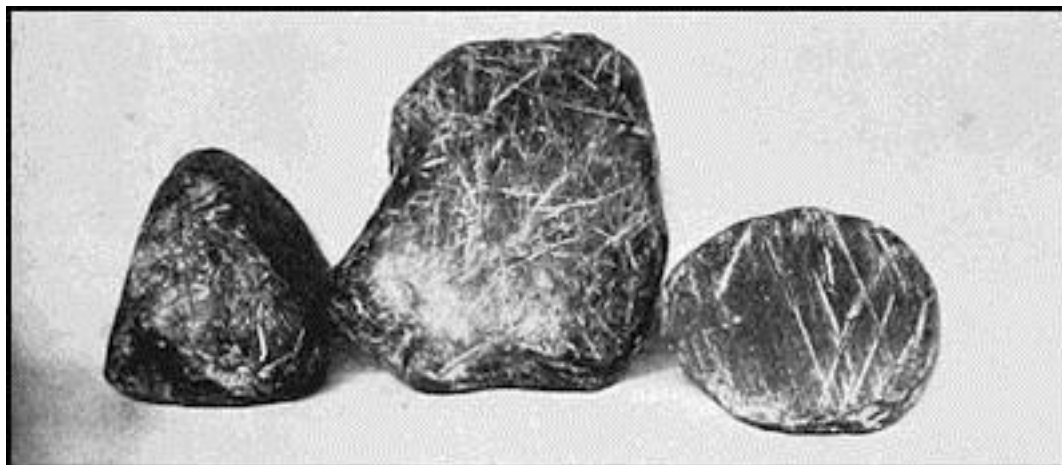
Везде, где можно обнаружить породы необычного и, следовательно, легко узнаваемого характера, но на ограниченных площадях, легко проследить распространение такого материала. Участки красного шведского и шотландского гранита использовались для широкого отслеживания распространения дрейфа над северной Европой. В районе Великих озер Северной Америки есть области ограниченного размера, занятые хорошо обозначенными типами горных пород, так что перемещение их фрагментов с континентальным ледником может быть нанесено на карту с некоторой тщательностью. На северном берегу залива Джорджиан-Бей находится прекрасный конгломерат яшмы, чьи ярко-красные камешки на фоне белого кварца привлекают всеобщее внимание. В Ишпеминге на северном полуострове Мичиган найден не менее красивый джаспилит, состоящий из сморщенных чередующихся слоев черного гематита и красной яшмы. На полуострове Кьюино, который выступает в озеро Верхнее с его южного берега, обнаружено замечательное залегание самородной меди в ряде магматических пород различных типов и цветов. Фрагменты этой меди, некоторые весом в несколько сотен фунтов каждый и покрытые слоем зеленого малахита, получили название “дрейфующей” или “плавающей”

меди, которые были собраны во многих местах в пределах широкого “веера” распространения, простирающегося почти до самых пределов оледенения (рис. 331).

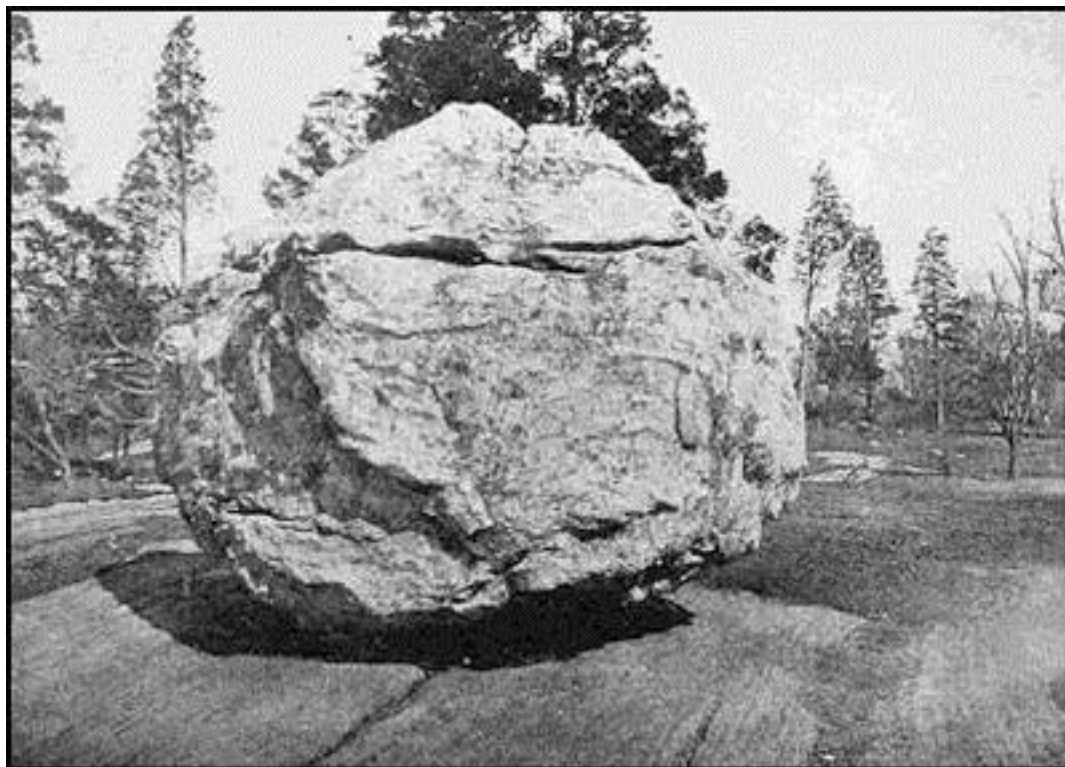
В нескольких милях к северу от Провиденса в Род-Айленде есть холм, известный как Айрон Хилл, состоящий в значительной степени из черной магнетитовой породы, так называемого камберлендита. С вершины этого холма было рассеяно большое количество породы, распределенной в виде хорошо заметной “цепочки валунов”, в пределах которой размер и частота рассеянных валунов обратно пропорциональны расстоянию от родительского уступа (рис. 332). Похожие, хотя и менее совершенные ряды валунов обнаружены с подветренной стороны большинства выступающих массивов стойких пород в районе дрейфа.

Большие боулдеры, оставленные на выступе заметно отличающегося внешнего вида, легко привлекают внимание и были описаны как “стоящие на насесте”. Покоясь, как они иногда делают на относительно небольшой площади, они могут быть хорошо сбалансированы и, таким образом, легко совершать маятниковые или раскачивающиеся движения. Такие “камни-качалки” достаточно распространены, особенно среди холмов Новой Англии (фото 17b). Многие из таких боулдеров совершили несколько примечательных переходов со многими перерывами, будучи сначала перенесенными в одном направлении более ранним ледником, чтобы позже быть перенесенными в совершенно разных направлениях во время новых ледяных нашествий.

Фото 17.



А. Подошвенные ледниковые валуны, на одной и той же грани которых видны разнонаправленные бороздки.



Б. Посадил боулдера на полосатый выступ другого типа скалы, Бронкс-парк, Нью-Йорк (в честь Лунгштедта).



С. Характерный выступ и впадинчатая поверхность морены.

Алмазы дрейфа.— Значительный общественный, даже если не экономический, интерес представляют алмазы, которые были посеяны в дрейфе после долгих и прерывистых путешествий со льдом из какой-то неизвестной страны далеко на севере, в дикой местности Канады. Первый обнаруженный камень был извлечен рабочими из колодца недалеко от маленького городка Игл в Висконсине в 1876 году. Поскольку его природа не была известна, он оставался там, где был найден, всего лишь как диковинка, и только в 1883 году его перевезли в Милуоки и продали ювелиру, столь же не знающему о его стоимости, и всего за номинальную сумму в один доллар. Позже признанный бриллиантом необычного веса в шестнадцать карат, он был продан Тиффани и стал причиной длительного судебного разбирательства, которое не заканчивалось до тех пор, пока Верховный суд Висконсина не постановил, что ювелир из Милуоки, а не нашедший камень, имел право на цену камня, поскольку он не знал о его стоимости на момент покупки.

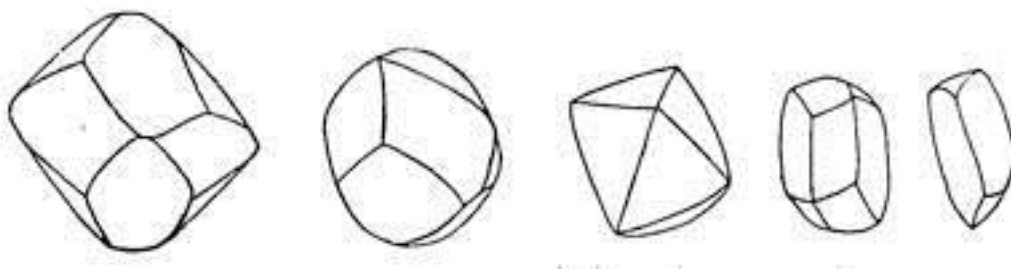


Рис. 333. Формы и приблизительные естественные размеры некоторых наиболее важных алмазов из района Великих озер в Соединенных Штатах. В порядке слева направо эти цифры обозначают бриллиант Eagle весом шестнадцать карат, бриллиант Saukville весом шесть с половиной карат, бриллиант Milford весом шесть карат, бриллиант Oregon весом четыре карата и бриллиант Burlington весом чуть более двух карат.

Еще более крупный алмаз весом в двадцать один карат был найден в Кольсвилле, а более мелкие - в Орегоне, Саквилле, Берлингтоне и Плам-Крик в штате Висконсин; в Доваджаке в Мичигане; в Милфорде в Огайо и в округах Морган и Браун в Индиане. Внешний вид некоторых из более крупных камней в их естественном размере и форме можно увидеть на [рис. 333](#).

Хотя количество алмазов, засеянных в штреке, несомненно, велико, их дисперсия такова, что маловероятно, что их можно будет извлечь с прибылью. Распределение местностей, в которых к настоящему времени были найдены камни, приведено на [рис. 334](#). Очевидно, что те, которые были найдены, имеют больший размер, поскольку они только привлекают внимание. В 1893 году, когда находка орегонского камня привлекла внимание к этим обитателям дрейфа, автор предсказал, что время от времени будут обнаруживаться другие камни по существу в тех же условиях, и такие открытия, несомненно, продолжатся в будущем.

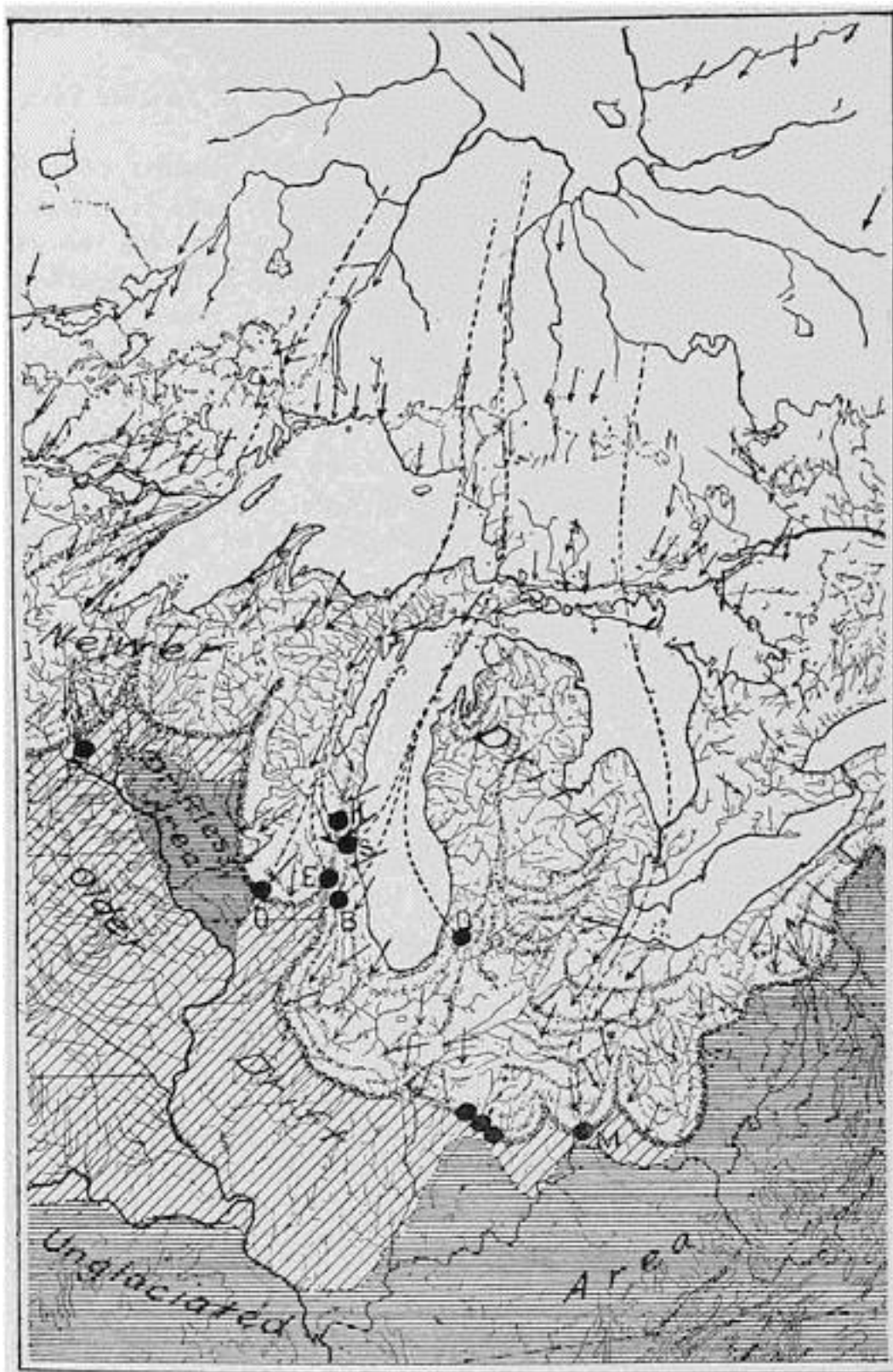


Рис. 334. Ледниковая карта части района Великих озер, показывающая безледниковую область и области более древнего и нового дрейфа. Также показаны зона без дрейфа, морены более позднего ледникового вторжения и распределение алмазоносных отложений на последнем. С помощью направлений полос была предпринята некоторая попытка указать вероятные следы более важных алмазов, которые сходятся в направлении полуострова Лабрадор.

Приведенное в таблице сравнение оледеневших и незаледеневших регионов.—Теперь будет полезно суммировать в параллельных столбцах контрастные особенности оледеневших и незаледеневших регионов.

Безледниковый регион

Ледниковый регион

ТОПОГРАФИЯ

Рельеф *разрушительный*; остатки равнины встречаются на самых высоких уровнях или на вершинах холмов; холмы *вырезаны* из высокой равнины; характерны неустойчивые остатки эрозии.

, ,Топография *конструктивная*; остатки равнины встречаются на самых низких уровнях в озерах и болотах; холмы *сформированы* над равниной в характерных формах; нет неустойчивых остатков эрозии, а только округлые выступы скал.

ДРЕНАЖ

Территория полностью осушена, а дренажная сеть *покрыта деревьями*.

Территория включает в себя незасушенные участки — озера и болота, — а дренажная система *устроена бессистемно*.

СКАЛЬНЫЙ ПОКРОВ

Обнаженная порода разложена и дезинтегрирована на значительную глубину; вся она местного происхождения и, следовательно, нескольких типов — *однородная*; фрагменты угловатые; почвы выщелоченные и, следовательно, не содержат карбонатов.

“На месте” нет разложившихся или дезинтегрированных горных пород, а только твердая, свежая поверхность; весь рыхлый скальный материал является инородным и разнообразен по составу и типам — *неоднороден*; каменные глыбы и галька огранены и отполированы, а также исчерчены бороздками, обычно в нескольких направлениях на каждой грани; почвы представляют собой каменную муку — зерно ледниковой мельницы.

ПОВЕРХНОСТЬ СКАЛЫ

Поверхность скалы шероховатая и неровная.

Поверхность скалы строганная или рифленая, а также отполированная. Видны ледниковые борозды.

Дрифт в разобранном виде.—Наносы бывают двух различных типов; а именно, наносимые непосредственно ледником, которые не имеют расслоения или неассортированы; и наносимые водой, текущей либо подо льдом, либо из-под него, и этот, как и большинство текучих отложений, материал рассортирован или стратифицирован. Нерассортированный материал описывается как *тилл*, или иногда как “глина для боулдеров”; сортируемый представляет собой песок или гравий, иногда с небольшими включенными боулдерами, и описывается как *мелкий гравий*. Чтобы вспомнить роль, которую ледник и ручьи сыграли в его отложении, все отложенные водой материалы, связанные с ледниками, называются *речно-ледниковыми*.



Рис. 335. Сечение при грубой обработке почвы. Обратите внимание на разнообразие материалов по размеру, отсутствие расслоения и форму чаш на “подшве”.

Таким образом, Тилл характеризуется примечательным отсутствием однородности как в отношении размера, так и состава составляющих его частей. Иногда за один раз в этом материале можно найти до двадцати различных пород с различной текстурой и цветом, и представлена вся гамма - от тончайшей каменной муки, с одной стороны, до чаш, диаметр которых может измеряться в футах (рис. 335).

В отличие от тех, которые добываются обычным потоком, галька и валуны тилля имеют граненую форму или “подшву” и обычно имеют бороздки на своих гранях. Если исследовать несколько камешков, то, по крайней мере, на некоторых из них обязательно обнаружатся бороздки более чем в одном направлении на одной грани. В качестве критерия для различения материала это может быть важным признаком, который следует использовать для отличия в особых случаях от фрагментов горных пород, полученных в результате брекчирования и сглаживания и распространяемых потоками в засушливых и полузасушливых регионах.

Поскольку способность льда переносить большие массы больше, чем способность воды, разнородный сугроб в целом менее крупнозернистый и, как следует из его названия, также слоистый. От обычного речного гравия камне отличается формой гальки, которая обычно граненая, а в некоторых случаях бороздчатая. Однако по мере того, как материалы сильно обрабатываются водой, углы между гранями гальки становятся округлыми, а первоначальные формы значительно маскируются.

Элементы, в которые формируется дрифт.— Хотя ранее существовавшие долины были сначала заполнены наносными материалами, что уменьшило акцент рельефа, продолжение того же процесса привело к наложению черт характерных форм на несовершенную выровненную поверхность более ранних стадий. Эти объекты принадлежат к нескольким различным типам, в зависимости от того, были ли они построены за пределами края ледника, на нем или внутри него. Окраинные отложения описываются как *промывные равнины* или *фартуки*, или иногда как *чередование долин*; окраинными являются либо *морены*, или *ликамы*; в то время как внутри границы сформировались равнина тилля или ледонная морена, а также, локально, *друмлины* и *эскер* и т.д. Эти характерные черты, за редким исключением, можно обнаружить только в районе, покрытом

последним ледяным нашествием. Что касается более ранних, то прошло уже так много времени, что воздействие атмосферных воздействий, смыва и речной эрозии было таким, что мало что из них можно узнать.

Маргинальные и немагинальные особенности простираются в направлении границы или, другими словами, перпендикулярно местному движению льда; в то время как внутримаргинальные отложения примечательны тем, что они перпендикулярны границе или соответствуют направлению местного движения льда. Каждая из этих деталей обладает характерными чертами в своей форме, размере, пропорциях, формировании поверхности и ориентации, а также в составляющих ее материалах. Возможно, следует отметить, что существующие континентальные ледники, находящиеся в высоких широтах, воздействуют на горные породы, которые подверглись процессам выветривания, отличным от процессов, характерных для умеренных широт. Более того, поскольку таяние плейстоценовых ледников происходило в относительно низких широтах, большее количество каменных обломков, вероятно, высвободилось из льда во время определенных климатических изменений, и, следовательно, по обеим этим причинам произошло более сильное скопление дрейфа.

Маргинальные, или “чайниковые” морены.—Везде, где на длительный период край ледника останавливался, на кромке льда скапливались значительные отложения наносов. Однако эти скопления образуются не только на краю, но и на поверхности льда; частично из-за материалов, собранных при таянии поверхности, а частично из-за поднятия слоев льда вблизи края (см. *ante*, стр. 277).

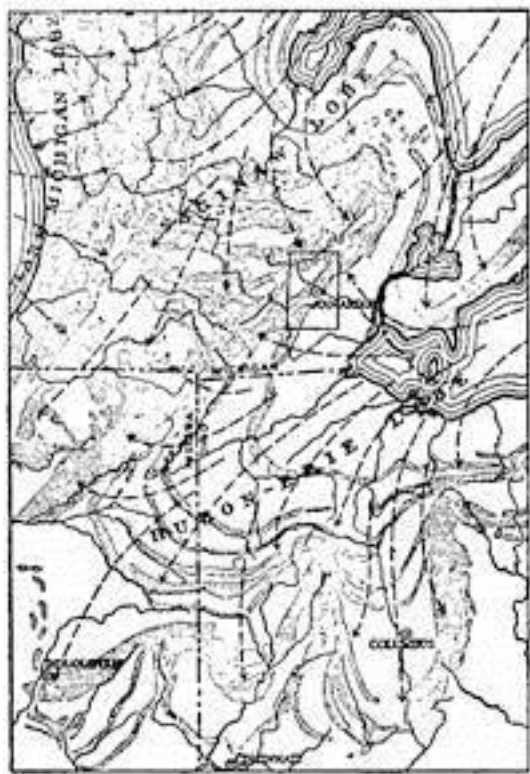


Рис. 336. Схематическая карта частей Мичигана, Огайо и Индианы, показывающая резные очертания морен вокруг бывших ледяных выступов и направления движения льда, определенные по бороздкам на скальном покрытии (по Леверетту).

Важную роль играет талая вода, которая появляется у кромки льда, особенно в переходах или углублениях контура. Таким образом, материал морен состоит из крупных локальных отложений каменного гравия, и они образуют серию гребней, соответствующих временному

положению ледяного фронта. Их ширина может варьироваться от нескольких стержней до нескольких миль, их высота может достигать ста футов и более, и они тянутся по всей стране на расстояния в сотни или даже тысячи миль, образуя дуги или гребешки, которые всегда выпуклы наружу и которые сходятся острыми выступами, которые в общем случае указывают на рельеф бывшего ледника (рис. 334, с. 308, и рис. 336). Эти фестоны морен очерчивают ледяные выступы последнего ледникового нашествия, которые в Северной Америке были сосредоточены над впадинами, ныне занятыми Лаврентийскими озерами. Таким образом, существовала доля озера Верхнее, доля озера Мичиган и т.д. Таким образом, с помощью этих моренных карт мы можем в воображении изобразить широкими линиями фронтальные контуры более ранних ледников. В особо благоприятных местах, где фронт льда пересек глубокую долину на краю зоны без дрейфа, мы можем даже приблизительным образом измерить наклон поверхности льда. Так, вблизи озера Девилс в южном Висконсине конечная морена пересекает бывшую долину реки Висконсин и при этом опускается примерно на четыреста футов в пределах полумили или около того (рис. 337).

Характерная поверхность краевой морены ответственна за название морены “чайник”, которое обычно применяется к ней. “Чайники” представляют собой примерно круглые, не осушенные чаши, которые расположены среди кочек или бугорков, так что поверхность часто называют топографией “ручки и чаши” (фото 17 С).

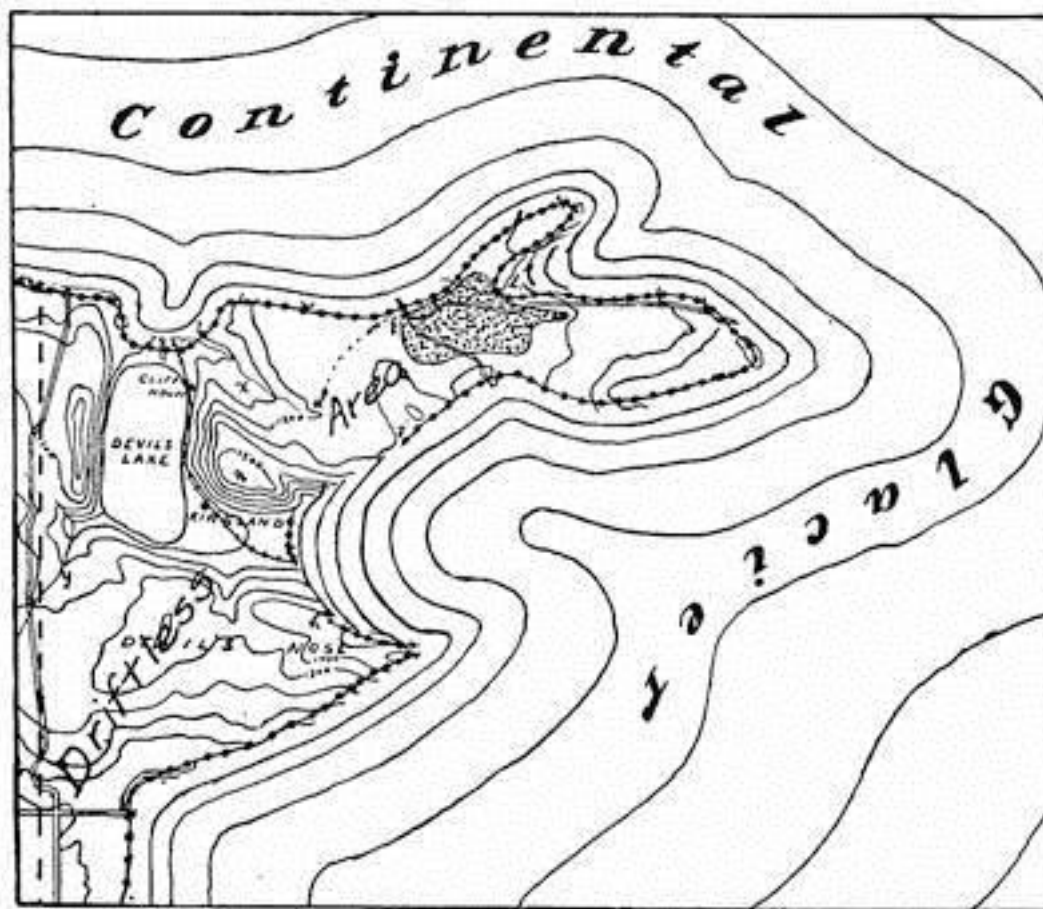


Рис. 337. Карта окрестностей озера Девилс, штат Висконсин, расположенного в пределах ответвления морены “котел” на границе зоны без дрейфа. Озеро находится в более раннем русле реки Висконсин, которое было перекрыто с обоих концов, сначала ледником, а затем

его мореной. Пунктирная область на высотах и рядом с мореной представляет собой глинистые отложения бывшего озера (на основе карты Солсбери и Этвуда).

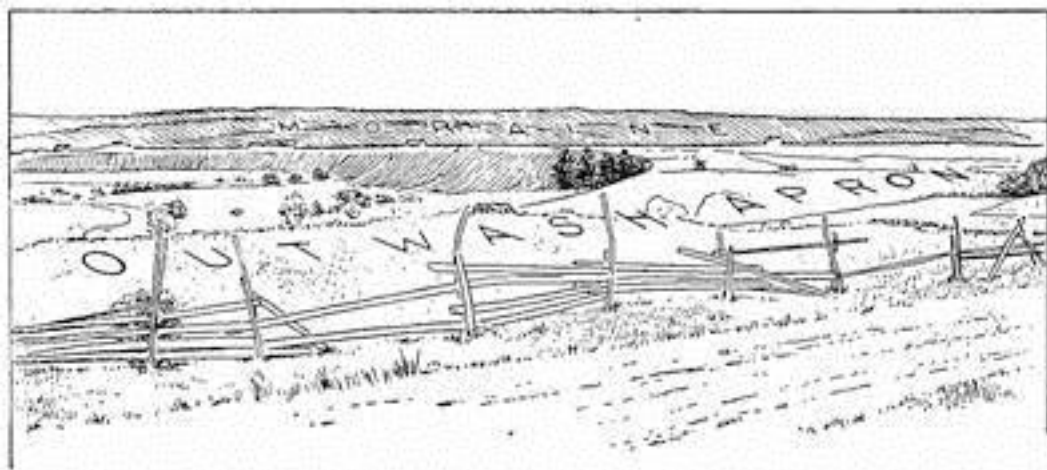


Рис. 338. Морена с передним краем размыва, последний частично размывт рекой. Вестергетланд, Швеция (в честь Х. Мунте).



Рис. 339.— Ров между пойменной равниной (на переднем плане) и мореной, которая поднимается слева на среднем расстоянии. Энн-Арбор, Мичиган.

Камес.—В выступах или углублениях ледяной кромки отложения дрейфа были особенно тяжелыми, так что образовались высокие холмы с бугристой поверхностью, которые называются *камами*. Большинство более высоких дрейфующих холмов имеют это происхождение. Они редко имеют какое-либо основное продолжение в одном направлении, но состоят по большей части из различных материалов. В отличие от других частей моренных хребтов, здесь отсутствуют выступающие впадины, известные как котловины. Другие *камы* представляют собой высокие холмы из различных материалов, не имеющие прямой связи с моренами и, как полагают, образовавшиеся под ледниковыми колодцами или мельницами (стр. 278).

Затопленные равнины.—На внешнем краю морены обычно находится равнина ледниковых “стоков”, состоящая из песка или гравия, нанесенных извилистыми потоками (рис. 308, стр. 280), текущими с края ледника. Такие равнины, хотя и являются особенно плоскими (рис. 338), слегка отклоняются от морены. Между пойменной равниной и мореной иногда

обнаруживают яму, или *ров* (рис. 309, стр. 281), где часть ледяного покрова была частично погребена под собственным размывом (рис. 339).



Рис. 340. Вид на эскер на юге штата Мэн (после Стоуна).

Изрытые равнины и междольковые морены.—Там, где ледниковый сток сосредоточен в длинном и узком повторном переходе, разделяющем ледниковые доли, иногда образуются полосы высокой равнины, которые перекрывают другие ледниковые отложения района. Песок и гравий, составляющие такие равнины, имеют поверхность, изрытую многочисленными глубокими и более или менее круглыми озерами, так что к ним был применен термин “изрытая равнина”. Поверхность такой равнины неуклонно поднимается к своей высшей точке в углу между ледяными пластами. Хотя такие пологие изрытые платформы почти полностью состоят из различных материалов и образованы в основном без ледяных краев, они описаны как *междольковые морены*. На топографической карте за ходом такой междолевой морены часто могут следовать пояса небольших карьерных озер (см. [рис. 336](#)).



Рис. 341.— Контурная карта, показывающая эскеры Финляндии, простирающиеся на юго-восток к украшенным гирляндами моренам у кромки льда. За моренами появляются характерные озера ледникового региона (по Дж. Дж. Седерхольму).

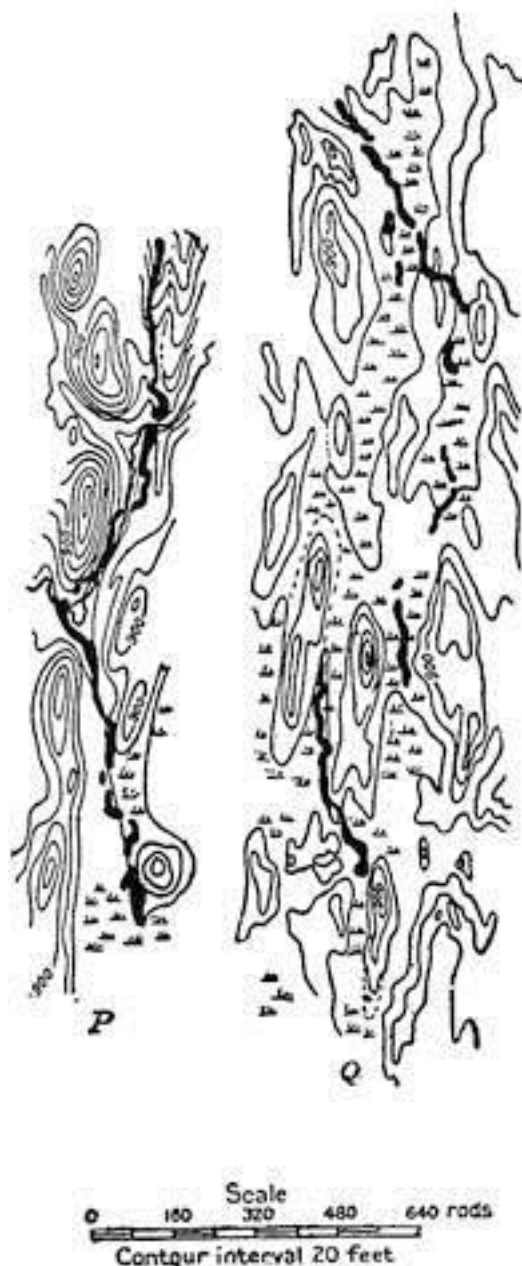


Рис. 342. — Небольшие эскизные карты, показывающие соотношение размеров, пропорций и ориентации драмлинов и эскеров в южном Висконсине. Эскеры окрашены в сплошной черный цвет (в честь Олдена).

Эскерс.—Внутриморенные особенности, или те, которые развиты под ледником, но относительно недалеко от его окраины, включают “змеевидный камень”, эскер, или, как его называют в Скандинавии, ос (множественное число осар) (рис. 340). Ширина этих миниатюрных гряд редко превышает несколько прутьев, а высота не более нескольких десятков футов, но со слегка извилистыми изгибами они могут тянуться на десятки или даже сотни миль в общем направлении местного движения льда (рис. 341). Они состоят из слабо стратифицированных, толстослоистых песков, гравия и “обработанных” материалов и, как полагают, были образованы подледными реками, которые текли в туннелях подо льдом.

Поскольку отложения скапливались у ледяных стенок, слои были нарушены по бокам, когда эти стенки исчезли, и напластование, которое вначале было несколько изогнутым, было изменено скольжением по обоим краям. Как уже говорилось, эскеры не имеют общего распространения в пределах оледенелой территории, но часто встречаются в большом количестве в особо облюбованных местах. Считается, что многие из образовавшихся подо льдом материалов перераспределяются сразу после вскрытия на краю ледника из-за интенсивного дренажа там. Таким образом, их можно встретить только в тех излюбленных местах, где по какой-либо причине пограничный дренаж менее активен или где лед закончился в водоеме.

Драмлины.— Своеобразный тип небольшого холма, также встречающийся за краевой мореной в некоторых излюбленных районах, имеет форму перевернутой лодки или каноэ, длинная ось которого параллельна направлению движения льда, как у эскера (рис. 342). В отличие от эскера, этот тип холма состоит из тилля, и из-за того, что его находят в Ирландии, он называется *драмлин*, ирландское слово, означающее небольшой холм (рис. 343). Друмлины обычно встречаются группами, более или менее радиальными, недалеко от самой внешней морены, к которой перпендикулярны их расходящиеся оси. Способ их образования вызывает некоторую неопределенность, но ясно, что они образовались под краем ледника и получили свою форму от последнего ледника, который занимал этот район.

Взаимосвязь почти всех формованных элементов, образовавшихся в результате континентального оледенения, можно прочесть на рис. 344.



Рис. 343.—Вид барабана, показывающий отверстие в касе. Недалеко от Бостона, Массачусетс (после Шалера и Дэвиса).

Шельфовый лед ледникового периода. Шельфовый лед, с которым мы познакомились в Антарктиде в виде краевой снежно—ледяной террасы, плавающей над морем, несомненно, существовал во время ледникового периода над заливом Мэн (см. Рис. 324, стр. 298), и, возможно, также над глубоководьем к западу от Шотландии. Хотя внутренний лед, вероятно, покрывал Северное море, а на американской стороне Атлантики - пролив Лонг-Айленд, оба этих бассейна настолько мелки, что лед, должно быть, лежал на дне, поскольку ни один из них не имеет достаточной глубины, чтобы полностью затопить один из самых высоких европейских соборов.

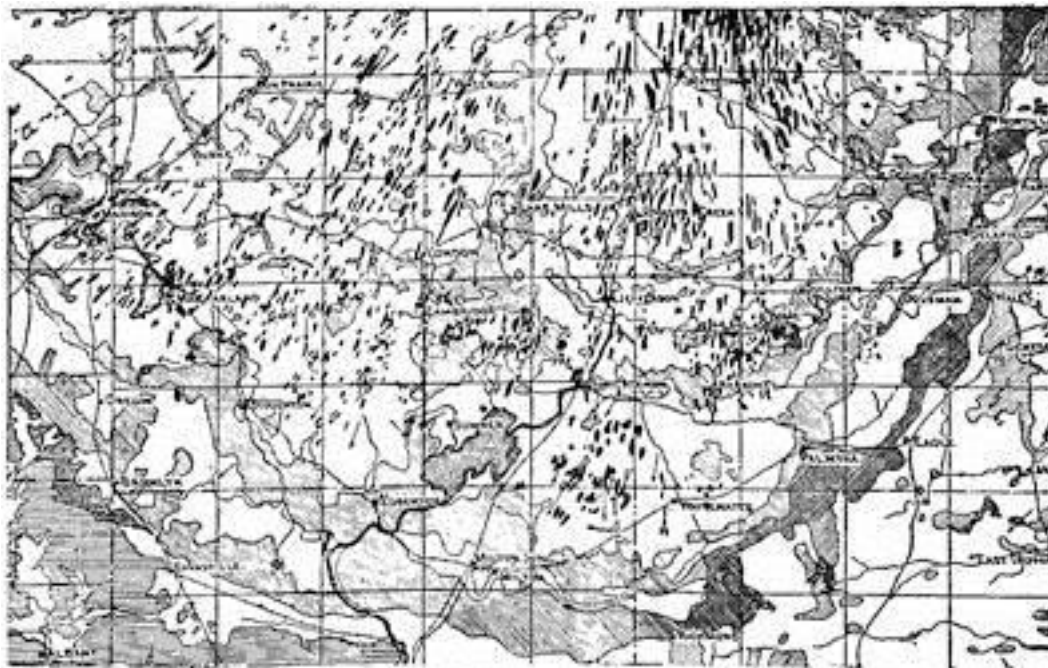


Рис. 344.—Контурная карта передней части лепестка Грин-Бэй последнего континентального ледника Соединенных Штатов. Друмлины окрашены в сплошной черный цвет, морены с диагональным изгибом, пойменные равнины и тиллевая равнина или донная морена окрашены в белый (после Олдена).

Профили персонажей.—Все элементы поверхности, относящиеся к континентальным ледникам, будь то вырезанные в скале или сформованные из сыпучих материалов, имеют плавные очертания, выпуклые кверху (рис. 345). Единственные определенные черты, высеченные в скале, - это *горы рош-мутоннес* их приплюснутыми уступами, в то время как холмы на моренах и камах, а также драмлины имеют примерно тот же профиль. Эскер в своих поперечных сечениях практически одинаков, хотя его змеевидное продолжение может иметь некоторую кривизну при взгляде с более высоких уровней.

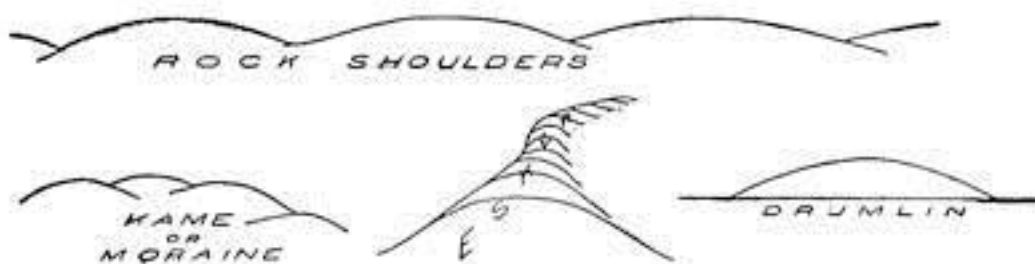


Рис. 345. Профили характеристик, относящиеся к континентальному леднику.

Список литературы для чтения главы XXII

Общие сведения:—

Джеймс Гейки. Великий ледниковый период. 3-е изд. Лондон, 1894, стр. 850, карты 18.

Чемберлин и Солсбери. Геология, том 3, 1906, стр. 327-516.

Фрэнк Леверетт. Ледниковая впадина Иллинойса, понедельник, 38, Геология США. Обзор., 1899, стр. 817, стр. 34; Ледниковые образования и особенности дренажа бассейнов Эри и

Огайо, понедельник. 41, *там же.*, 1902, стр. 802, стр. 25; Сравнение ледниковых отложений Северной Америки и Европы, *Zeit. f. Gletscherk.*, том 4, 1910, стр. 241-315, pls. 1-5.

Прежние оледенения, предшествовавшие ледниковому периоду:—

А. Страхан. Ледниковые явления палеозойского возраста в Варангер-фьорде, кварт. *Jour. Геол. соц.*, Лондон, том 53, 1897, стр. 137-146, стр. 8-10.

Бейли Уиллис и Элиот Блэкуэлдер. Исследования в Китае, изд. 54, Институт Карнеги. Вашингтон, том 1, 1907, стр. 267-269, стр. 37-38.

А. П. Коулман. Ледниковый период Нижнего Гурона, *Журнал Am. Jour. Sci.* (4), том 23, 1907, стр. 187-192.

У. М. Дэвис. Наблюдения в Южной Африке, *Бык. Геол. соц. Ам.*, том 17, 1906, стр. 377-450, стр. 47-54.

Дэвид Уайт. Климатические изменения пермо-каменноугольного периода в Южной Америке, *журнал. Геол.*, т. 15, 1907, с. 615-633.

Зоны без дрейфа и заносы:—

Т. К. Чемберлин и Р. Д. Солсбери. Предварительный доклад о свободных от дрейфа районах Верхней долины Миссисипи, 6-е анн. Республика. Геология США. Обзор., 1885, стр. 199-322, стр. 23-29.

Р. Д. Солсбери. Дрейф, его характеристики и взаимосвязи, *журнал. Геол.*, т. 2, 1894, с. 708-724, 837-851.

Р. Х. Уитбек. Контрасты между покрытыми льдом и свободными от дрейфа участками Висконсина, *Булл. Geogr. Соч.*, Филадельфия, том 9, 1911, стр. 114-123.

Гравировка на леднике:—

Т. К. Чемберлин. Наскальные рисунки Великих ледяных вторжений, 7-я энн. Репт. Геол. США. Обзор, 1888, с. 147-248, стр. 8.

Дисперсия дрейфа:—

Р. Д. Солсбери. Заметки о диспергировании дрейфующей меди, пер. Исх. Акад. наук и др., т. 6, 1886, с. 42-50, пл.

Н. С. Шалер. Условия эрозии под глубокими ледниками, основанные на исследовании поезда Боулдер из Айрон-Хилл, Камберленд, Род-Айленд, США. Сост. *Zoöl. Харв. Сборник*, т. 16, № 11, 1893, стр. 185-225, стр. 1-4 и карта.

Уильям Х. Хоббс. Алмазное месторождение Великих озер, *журнал. Геол.*, том 7, 1899, стр. 375-388, стр. 2 (также отв. Смитсон. Инст., 1901, стр. 359-366, стр. 1-3).

Особенности ледникового периода:—

Т. К. Чемберлин. Предварительная статья о конечной морене Второй ледниковой эпохи, 3-я годовщина. *Rept. U. S. Geol. Обзор*, 1883, стр. 291-402, стр. 26-35.

Г. Х. Стоун. Ледниковые отложения штата Мэн и связанные с ними отложения, понедельник, 34, Геология США. Обзор, 1899, стр. 489, стр. 52.

У. К. Олден. Делавенский выступ ледника озера Мичиган Висконсинской стадии оледенения и связанные с ним явления. Профессор Пап. № 34, Геология США. Обзор., 1904, стр. 106, стр. 15; Драмлины из Юго-Восточного Висконсина, Булл. 273, Геология США. Обзор, 1905, с. 46, стр. 9.

У. М. Дэвис. Структура и происхождение ледниковых песчаных равнин, Бык. Geol. Soc. Am., том 1, 1890, стр. 196-202, стр. 3; Подледниковое происхождение некоторых эскеров, Вып. Бост. Соц. нац. История., том 35, 1892, стр. 477-499.

Ф. П. Гулливер. Песчаная равнина Ньютонвилля, журн. Геол., т. 1, 1893, с. 803-812.

ГЛАВА XXIII

ЛЕДНИКОВЫЕ ОЗЕРА , ОЗНАМЕНОВАВШИЕ ЗАКАТ ПОСЛЕДНЕГО ЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА



Рис. 346. Река Иллинойс в том месте, где она проходит через внешнюю морену в Пеории, штат Иллинойс, показывая пойму древнего ручья в виде возвышенной террасы, в которую современный ручей врезался в свое ущелье (после Голдтуэйта).

Нарушение дренажа ледниками.—Каждое продвижение и каждое отступление континентального ледника было отмечено сложной серией эпизодов в истории каждой реки, на территорию которой он вторгался. Всякий раз, когда в долину входили со стороны ее водораздела, эффект надвигающегося фронта льда обычно заключался в том, что воды реки поднимались до паводков, на которые нынешние ручьи мало похожи (рис. 346). Из-за чрезмерного таяния это было еще более верно в отношении отступления льда, но здесь, *когда фронт льда отступил вверх по долине к водоразделу*. Достаточно яркий пример дают реки Уобаш, Каскаския, Иллинойс и другие ручьи к югу от водораздела, который окружает бассейн Великих озер (рис. 347).



Рис. 347. — Долины с широкими террасами за пределами водораздела бассейна Святого Лаврентия, которые остаются для обозначения наводнений, вызванных последним континентальным ледником во время его отступления (после Леверетта).

Везде, где рельеф был небольшим, в непосредственной близости от ледяного фронта происходило временное отклонение потоков из-за параллельных морен, так что течения имели тенденцию проходить параллельно ледяному фронту. Этот временный отвод, известный как “пограничный дренаж”, был прекращен, когда частично подтопленные воды, пробив себе путь через морены, образовали более постоянные долины (рис. 348).

Временные озера из-за ледостава.—Напротив, всякий раз, когда наступающий фронт льда входил в долину со стороны ее устья, или *отступающий фронт льда отступал вниз по долине*, следовали совершенно иные результаты, поскольку вода теперь была перекрыта фронтом льда, служащим плотиной. Хотя истории такого перекрытия рек часто довольно сложны, принципы, лежащие в их основе, на самом деле достаточно просты. Об озерах, образовавшихся во время наступающих полуциклов оледенения, и обо всех озерах, за исключением последнего отступающего полуцикла, не сохранилось удовлетворительных записей по той причине, что берега озер и озерные отложения позже были потревожены и погребены преобладающими ледяными покровами. Однако у нас есть все основания предполагать, что история каждого из этих полуциклов была во всех отношениях столь же сложной и интересной, как и история того, который нам разрешено изучать.



Рис. 348. Пограничный дренаж отступающего фронта льда к югу от озера Эри. Пунктирные области - это моренные гряды, а полосы хачуреда - долины пограничного стока (по Леверетту).

В качестве введения к изучению покрытых льдом озер Северной Америки и для того, чтобы изложить как можно яснее фундаментальные принципы, от которых зависят такие озера, мы рассмотрим несколько подробностей позднеледниковую историю некоторых шотландских долин, поскольку их площадь настолько мала, а рельеф настолько сильный, что взаимосвязь легче проследить; это, так сказать, карманное издание истории более протяженных ледниковых озер.

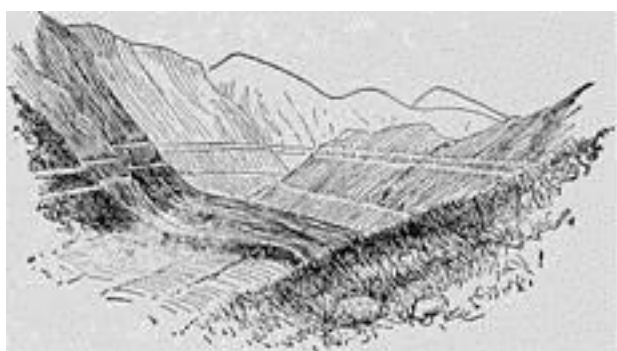


Рис. 349. — “Параллельные дороги” Глен-Роя в южном нагорье Шотландии (по Джеймисону).

“Параллельные дороги” шотландских долин.—В ряде соседних долин в пределах южного нагорья Шотландии обнаружены слабые террасы на стенах долин, которые под названием “параллельные дороги” (рис. 349) поставили перед учеными сложную проблему. Одним из многих ученых, которые долго пытались объяснить их, хотя и безуспешно, был Чарльз Дарвин, отец современной эволюции. Он выдвинул в качестве своей точки зрения, что “дороги” были пляжами, образовавшимися в то время, когда море вошло в ущелья и стояло на этих уровнях. Однако, когда исследования Джеймисона раскрыли их истинную историю, Дарвин с откровенностью, характерной для некоторых величайших ученых, признал, как далеко он заблуждался в своих рассуждениях. Давайте же сначала рассмотрим факты, а затем их интерпретацию. Карты на рис. 350 будет достаточно, чтобы с достаточной ясностью обозначить направление нескольких “дорог”. Эти “дороги” встречаются в ряде долин, впадающих в озеро Лох-Лохи, а из трех соседних долин в Глен-Рой есть три, в Глен-Гластер - две, а в Глен-Спин - одна “дорога”. Факты, имеющие наибольшее значение для их интерпретации, связаны с их высотами по отношению к перевалам в верховьях долин, их резкими обрывами вниз по долине и моренными скоплениями, которые обнаруживаются там, где они заканчиваются. Единственная “дорога” Глен-Спина находится на высоте 898 футов, что соответствует высоте перевала или седловины в начале его долины и самой низкой из “дорог” как в Гленс-Гластере, так и в Рое. Точно так же верхняя из двух “дорог” в Глен-Гластере находится на высоте перевала в его начале (1075 футов) и соответствует по

высоте средней из трех “дорог” в Глен-Рое. Наконец, самая высокая из “дорог” в Глен-Рое находится на высоте 1151 фут, что соответствует высоте седловины в начале долины. В соседнем Глен-Глое есть еще более высокая “дорога”, аналогичная по высоте перевалу, через который она соединяется с Глен-Роем.

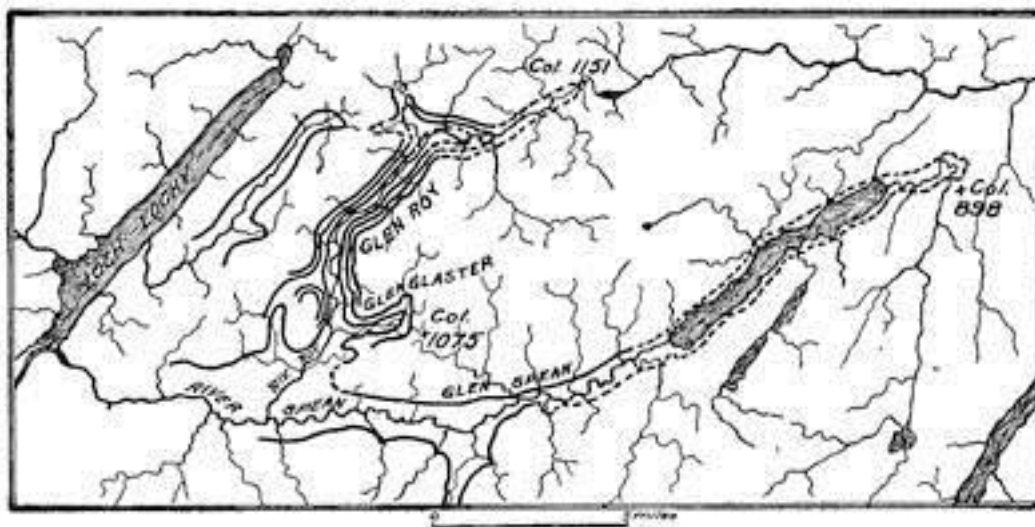


Рис. 350. — Карта Глен-Роя и соседних долин шотландского нагорья с так называемыми “дорогами”, нанесенными жирными линиями. У Гленс-Роя, Гластера и Спина три “дороги”, две “роудс” и одна “роуд” соответственно (в честь Джеймисона).

Переходя теперь к объяснению “дорог”, можно с самого начала сказать, что они, как предполагал Дарвин, представляют собой пляжные террасы, изрезанные волнами, но не океаном, как он полагал, а озерами, которые когда-то заполняли части долин, когда ледники, идущие от Бен-Невиса на юго-запад, загораживали их нижние части. Несколько эпизодов истории этого озера станут понятны при изучении трех последовательных идеалистических диаграмм на [рис. 351](#).

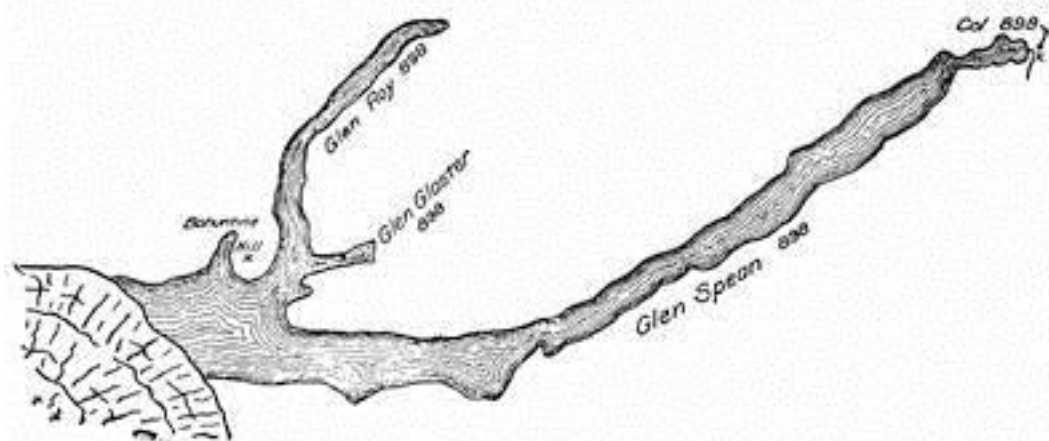
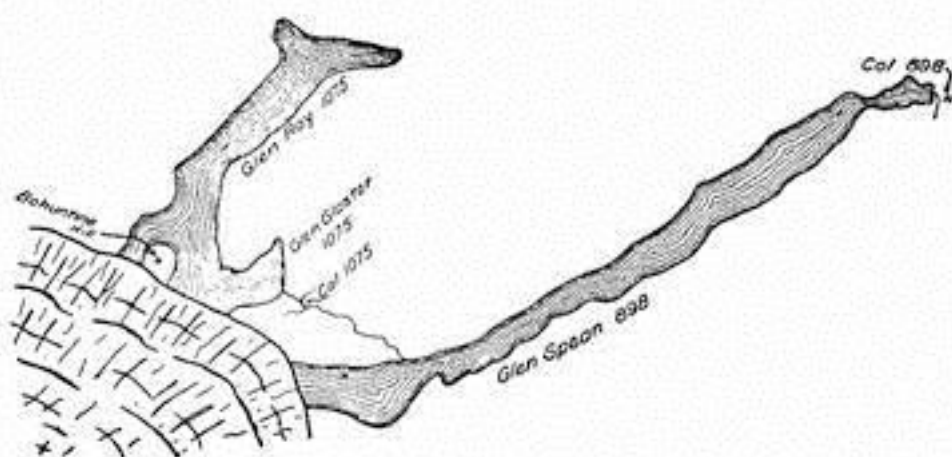
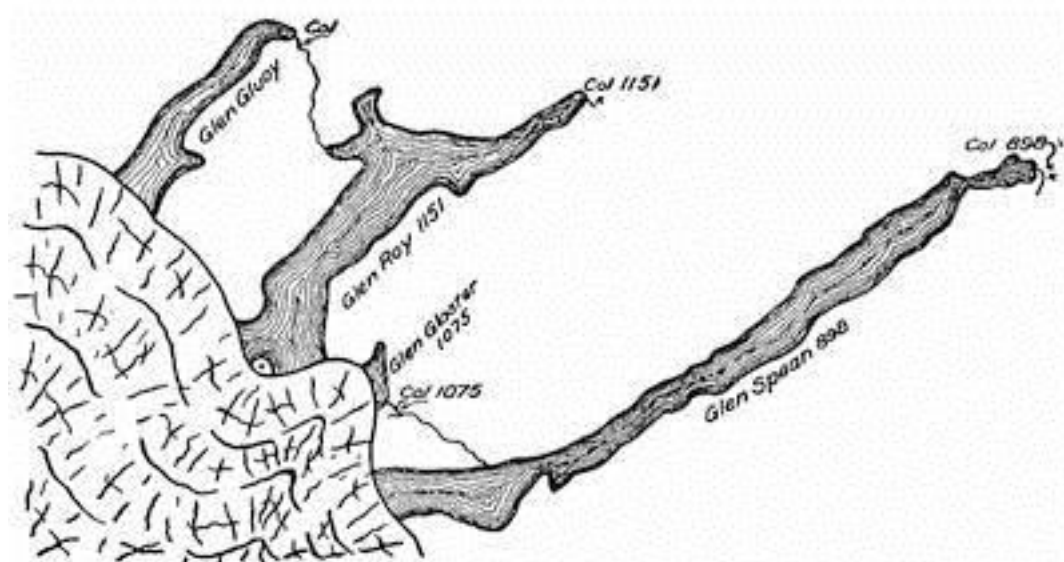


Рис. 351. — Три последовательные диаграммы для изложения по порядку истории позднеледниковых озер шотландских долин.

Чтобы вывести принципы, лежащие в основе этой истории, сразу видно, что все *изменения иницируются отступлением ледяного покрова до такой степени, что он открывает для вод озера выход, расположенный ниже, чем тот, который использовался в то время.* Это принцип, который объясняет почти все эпизоды истории ледниковых озер. Таким образом, когда фронт льда отступил, открыв прямое сообщение между Глен-Роем и Глен-Глэстером, седловина в верховье Глен-Роя была заброшена в качестве выходного отверстия, и уровень воды упал до уровня, установленного для Глен-Глэстера. Еще большее отступление, наконец, открыло прямое сообщение между Глен-Глэстером и Глен-Спином, так что озеро, общее для Гленс-Глэстера и Роя, опустилось до уровня седловины, которая в то время была выходом из долины Спин. Эта стадия продолжалась до тех пор, пока фронт льда не отступил настолько далеко, что воды естественным образом стекли вниз по реке Спин к озеру Лох-Лохи, а оттуда в океан.

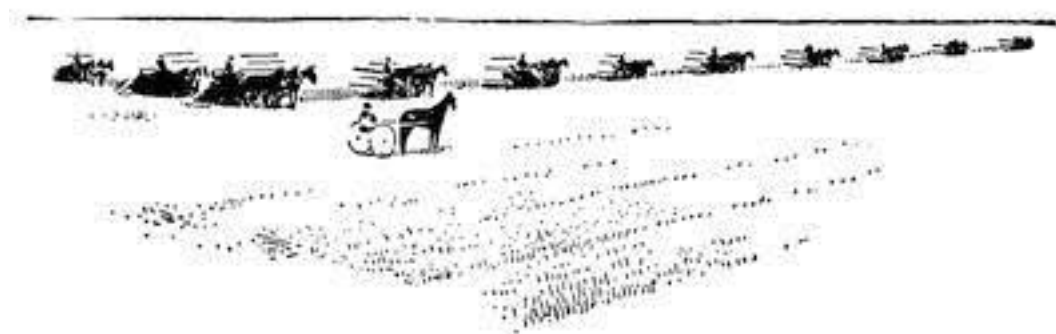


Рис. 352. Время сбора урожая на плодородном дне ледникового озера Агассис (после Хауэлла).

Только гораздо более грандиозными масштабами и меньшим рельефом местности, на которой они образовались, отличаются сложные истории больших, покрытых льдом озер Северной Америки от этих маленьких озер в долинах, пляжи которых можно посетить и установить взаимоотношения, благодаря Джеймисону, за один день прогулки.



Рис. 353.— Карта озера Агассис (после Апхэма).

Ледниковое озеро Агассис.— Самое большое из временных озер, которые могут быть перекрыты континентальными ледниками ледникового периода, следует искать в крупнейших долинах, которые лежат на захваченной территории и *которые обычно стекают к отступающему фронту льда*. В Северной Америке такими реками являются Красная река на Севере штата Миннесота, Дакота и Манитоба, а также система рек Святого Лаврентия. Ледяной дамбе, перегораживающей долину Ред-Ривер, мы обязаны плодородием этой обширной равнины озерных отложений, где сегодня ведется самое интенсивное выращивание пшеницы на северо-западе (рис. 352). Озера Виннипег, Виннипегосис и Манитоба, а также Лесное озеро - вот все, что сейчас осталось от этого величайшего из ледниковых озер, которое в честь выдающегося основателя ледниковой теории было названо озером Агассис (рис. 353). Поскольку их естественный выход был заблокирован льдом на севере Манитобы и Киватина, воды Красной реки разбухли в результате таяния отступающего ледника и распространились по обширной территории, прежде чем найти южный выход вдоль нынешнего озера Траверс и долины реки Миннесота. Вдоль этого маршрута разлился мощный паводок, образовавший широкую долину, во много раз превышающую размеры Миннесоты, ее нынешнего обитателя, и эта гигантская доисторическая река получила название реки Уоррен (рис. 354).

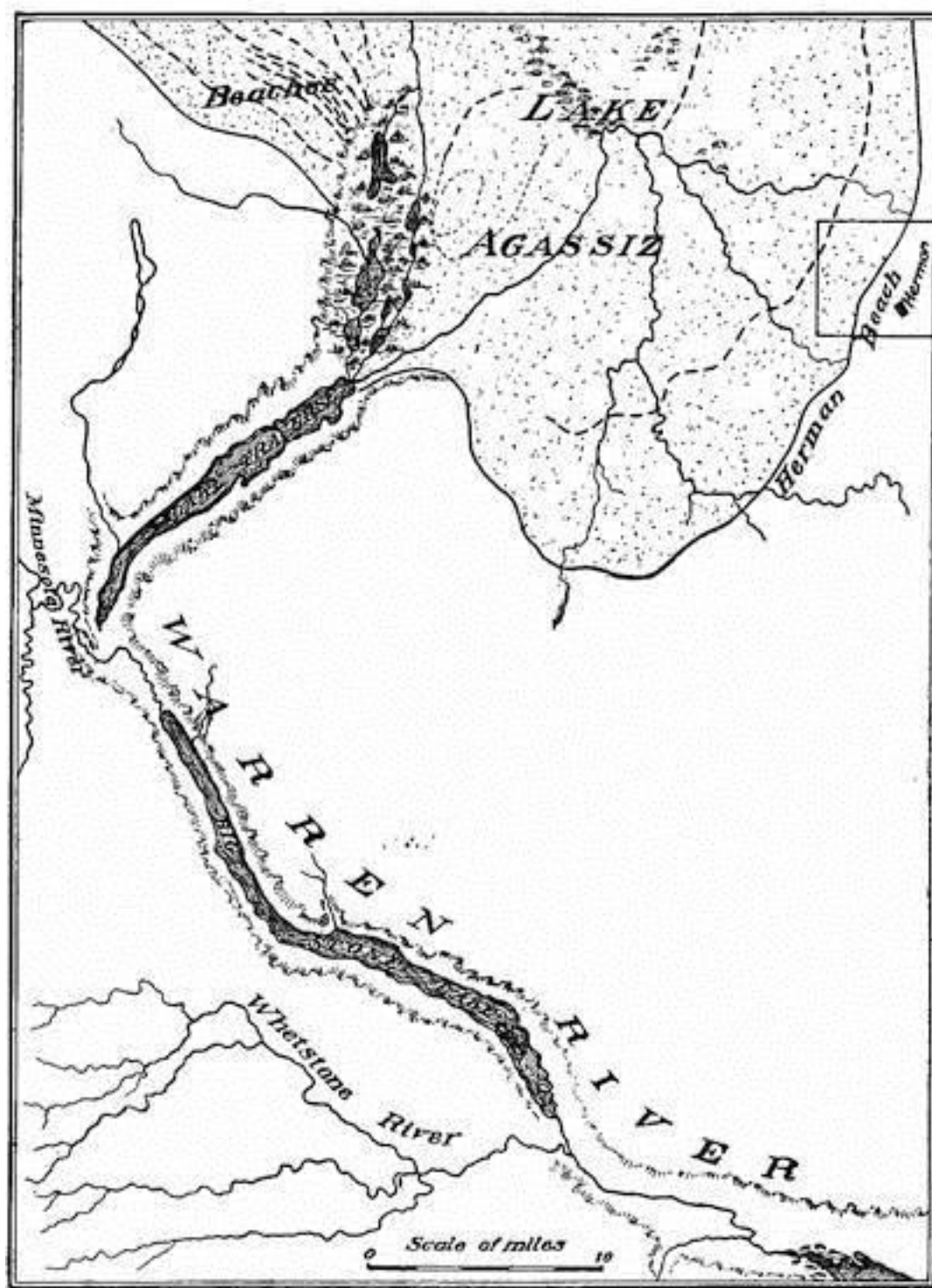


Рис. 354. — Карта южной оконечности бассейна озера Агассис, показывающая расположение некоторых пляжей и выхода из бывшей реки Уоррен (после Апхэма).

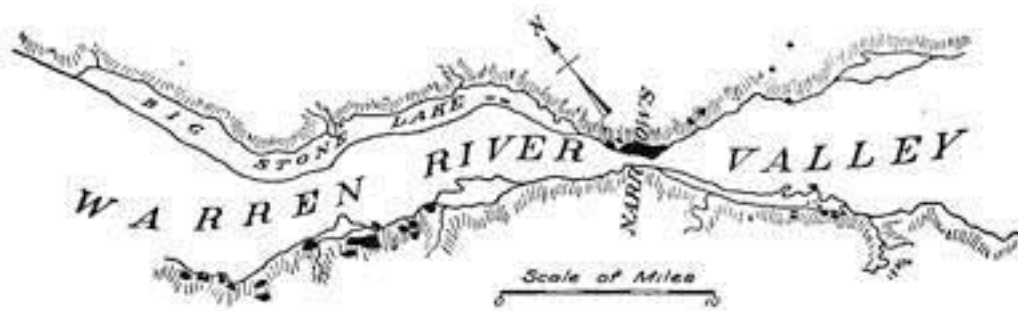


Рис. 355. Сужение реки Уоррен ниже озера Биг—Стоун, где она проходила между выступами твердого гранита и гнейса (после Апхэма).

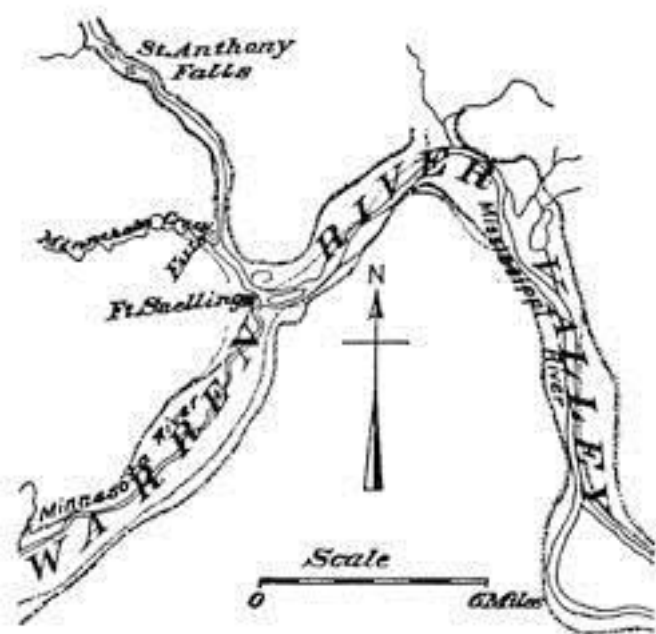


Рис. 356. Карта долины реки Уоррен в окрестностях Миннеаполиса с молодой долиной Миссисипи, впадающей в нее у Форта Снеллинг (после Сардесона).

Интересно проследить за этим древним водным путем и обнаружить, что, подобно нашим обычным современным ручьям, он проходил в узких местах, где выходы более твердых пород сужали его русло (рис. 355). Верхняя оконечность долины реки Уоррен в настоящее время занята длинными и относительно узкими озерами Траверс и Биг-Стоун, каждое из которых образовалось в результате перекрытия отложениями дельты, где в долину впадал приток, но этот гигантский канал продолжается вниз до Миннеаполиса и за его пределы, занятый до Форт-Снеллинга рекой Миннесота — сущий пигмей по сравнению со своим предшественником. Для серьезного исследователя ледниковой геологии может быть мало зрелищ, более впечатляющих, чем те, которые открываются, стоя в Форт—Снеллинге, чуть выше слияния рек Миннесота и Миссисипи, и осматривая сначала крутую и узкую долину Миссисипи над слиянием рек — ручей вписался в свою долину по той простой причине, что он ее прорезал, - а затем разглядывая вверх и вниз ту широкую долину, в которой великая река Уоррен когда-то величественно текла к морю, а теперь представляет собой русло Миннесоты над Фортом и Миссисипи под ним (рис. 356).

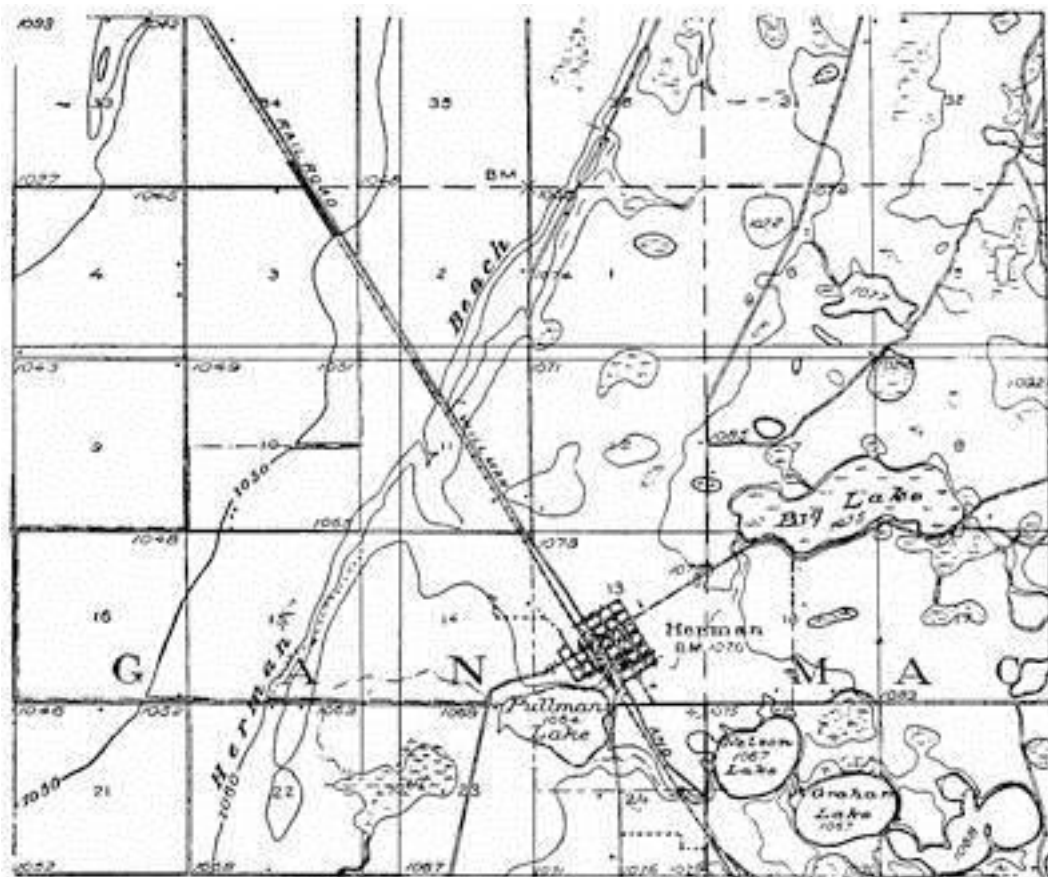


Рис. 357. Часть четырехугольника Хермана в Миннесоте, показывающая расположение пляжа Херман на берегу бывшего озера Агассис. Слева находится озерная впадина, а справа - изъеденные моренные отложения (США).

Точно так же, как “параллельные дороги” Глен-Роя, дороги только по названию, являются пляжами более ранних стадий ледникового периода, так и на озере Агассис у нас есть параллельные пляжи барьерного типа, которые часто являются дорогами не только по названию, но и по этапам чередования озер в этом обширном бассейне. Пляж Херман, соответствующий самому высокому уровню озера, таким образом, является резкой топографической границей между озерными отложениями и моренными скоплениями и, кроме того, сам по себе является хорошо выраженным топографическим объектом, состоящим из размытых волнами и, следовательно, хорошо дренированных материалов (рис. 357). Фермеры округа быстро поняли, что этим ровным и слегка приподнятым грядам не хватает глины, которая делала бы их грязными в дождливые сезоны, и поэтому они идеально приспособлены для дорог. Таким образом, на многих участках они использовались на больших участках и известны как “гребневые дороги”.

Эпизоды истории ледникового озера в долине Святого Лаврентия.— В пределах этого огромного водосборного бассейна, по-видимому, было возможно прочесть записи о каждом этапе новейшей истории озера— каким бы сложным оно ни было. Нам стоит только вспомнить этапы развития озер, приведенные в шотландских долинах, и помнить, что каждый новый этап начинался с отступления фронта ледника, который открывал выход на более низкий уровень, чем предыдущий. Эта последовательность, однако, могла быть изменена временным повторным перемещением льда, как это действительно однажды произошло в доле Гурон-Эри великого североамериканского ледника.

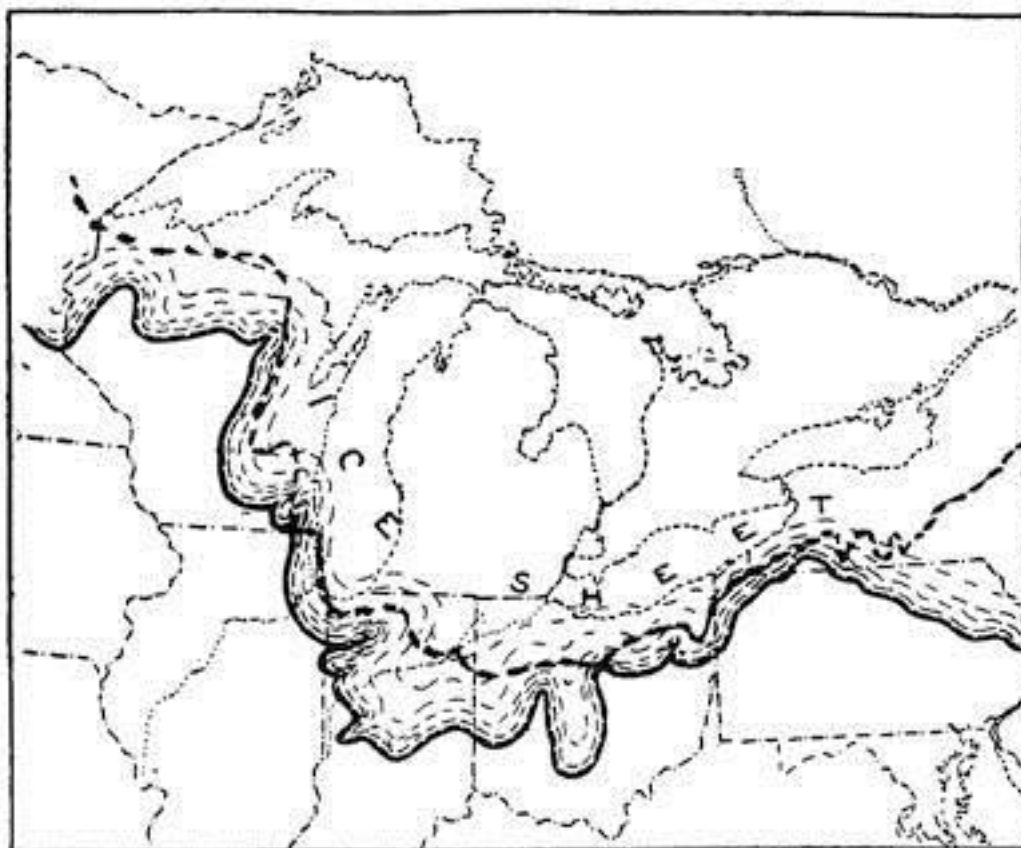


Рис. 358. Континентальный ледник Северной Америки на ранней стадии своего спада, когда он покрывал весь водосборный бассейн Святого Лаврентия. Пунктирная линия показывает приблизительное положение водораздела (на основе карты Голдтуэйта).

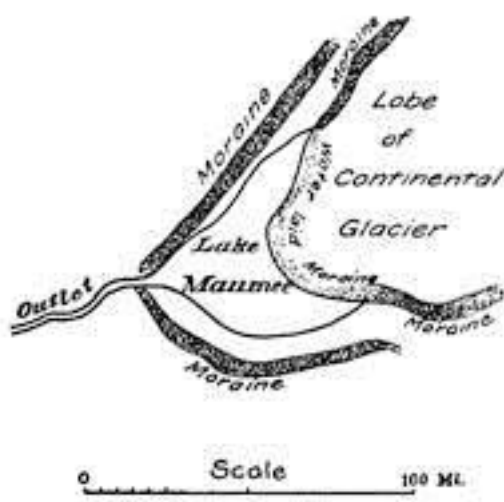


Рис. 359. Контурная карта раннего озера Моми с прилегающей мореной и мореной, заложенной водой, оставшейся на месте бывшего ледяного утеса.

Озера в форме полумесяца ранних стадий.—Пока ледник покрывал весь водосборный бассейн системы реки Святого Лаврентия, вся вода свободно отводилась ручьями, которые *отходили от* ледяного фронта (рис. 358). Однако так скоро, как и в любой момент, когда фронт отступал за водораздел, должно было произойти локальное затопление водоемов. Озера этого типа сегодня можно увидеть в Гренландии и в южных Андах; и хотя в уменьшенном масштабе, некоторое представление об их облике можно получить по внешнему виду озера Марьелен в Швейцарии, перекрытого здесь горным ледником (рис.

446, стр. 411). На всех участках с небольшим рельефом, таких как прерии, окружающие нынешние Лаврентийские озера, более ранние и более мелкие участки таких покрытых льдом озер, как правило, имеют форму полумесяца. Это связано с тем, что морена в большинстве случаев образует береговую окраину озера, а также с тем, что ледяной утес на противоположной границе, хотя и несколько выпрямленный в результате расщепления волн и образования айсбергов, все еще сохраняет выпуклые очертания, характерные для ледяных долек (рис. 359).

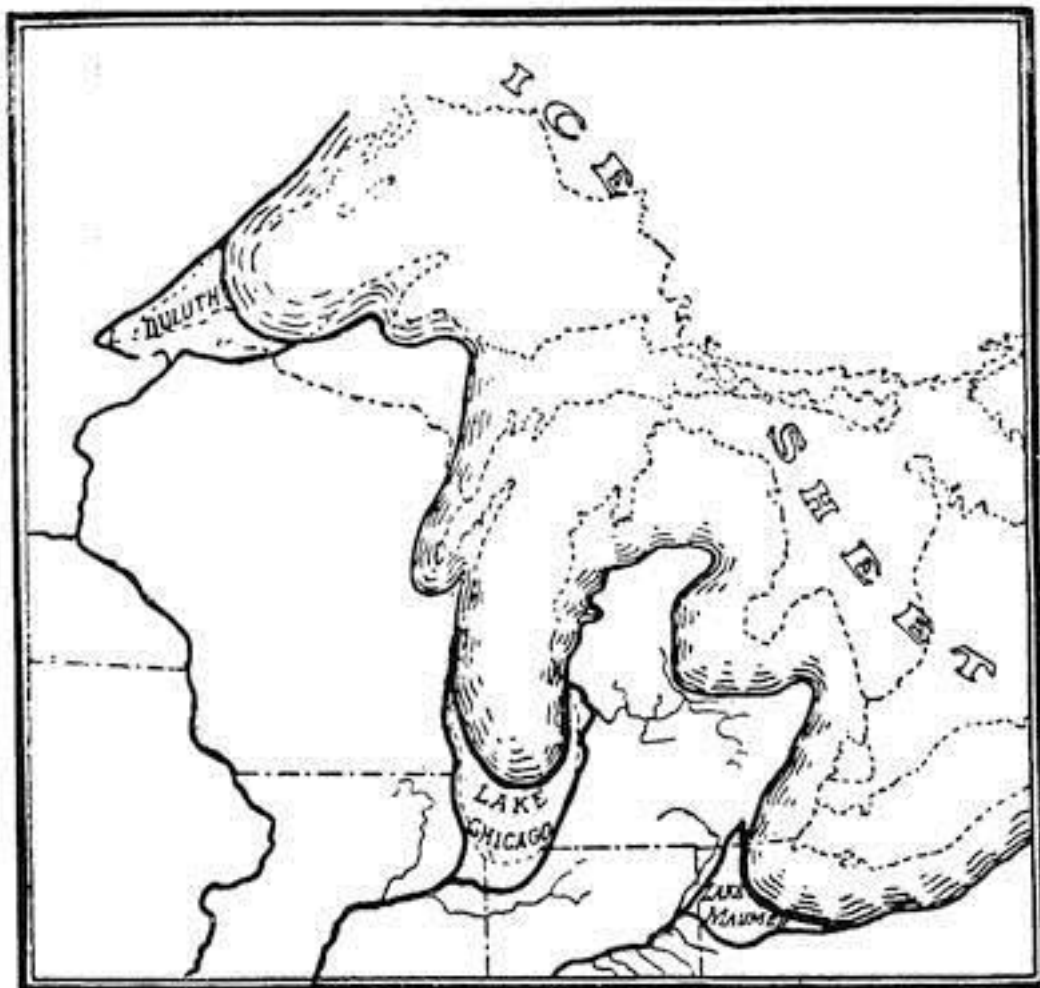


Рис. 360.— Карта, показывающая первые стадии образования покрытых льдом озер в бассейне Святого Лаврентия (по Леверетту и Тейлору).

В пределах каждого из бассейнов Великих озер озеро в форме полумесяца рано появилось на том конце впадины, который был впервые вскрыт ледником: озеро Дулут в бассейне Верхнего, озеро Чикаго в бассейне Мичигана и озеро Моми в бассейне Гурон-Эри (рис. 360).

Теперь мы можем с пользой для себя проследить последовательные эпизоды истории ледниковых озер, рассматривая на более ранних этапах те изменения, которые происходили в бассейне Гурон-Эри, поскольку они в существенных отношениях аналогичны изменениям в бассейнах Мичигана и Верхнего, хотя и проработаны более детально. Озеро Чикаго, однако, следует принимать во внимание, поскольку на всех этапах, за исключением самого раннего и более позднего, воды из впадины Гурон-Эри сбрасывались через Гранд-Ривер в это озеро, а оттуда через так называемый “чикагский выход” в Миссисипи (фото 20 А).

Раннее озеро Моми. Площадь, очертания и выход из этого озера указаны на [рис. 360](#). Были прослежены его древние пляжи, а также залегшая под водой морена под бывшим ледяным утесом; и ни один наблюдательный путешественник, которому доведется пройти по древнему выходу из Форт-Уэйна, штат Индиана, мимо города Хантингтон, не сможет не быть впечатлен его размерами, наводящими на мысль о большом объеме воды, которая, должно быть, когда-то текла по нему. Теперь канал шириной в милю или более, его русло на протяжении двадцати пяти миль между Форт-Уэйном и Хантингтоном можно увидеть с путей железной дороги Уобаш просто как череду болот, в то время как в Хантингтоне река Уобаш впадает в молодую V-образную долину сбоку, подобно тому, как Миссисипи впадает в старое русло реки Уоррен в Форт-Снеллинге, штат Миннесота (см. [стр. 327](#)).

Река Гурон в южном Мичигане, которая сейчас впадает в озеро Эри, затем обнаружила, что ее нижнее течение перекрыто ледником, и поэтому была вынуждена найти русло, направленное на юг, по которому теперь легко пройти к северному рогу полумесяца озера Моми.

Более позднее озеро Моми.—Когда ледяной покров достаточно отошел от своего фронта, был обнаружен выход ниже, чем в Форт-Уэйне, за городом Имлей, штат Мичиган, в Гранд-Ривер, а оттуда через озеро Чикаго и его впадение в Миссисипи. Этот старый выход к югу от Чикаго проходит по руслу нынешнего Дренажного канала и линии железной дороги Чикаго-Элтон. Таким образом, путешественник, направляющийся на юг на поезде из Чикаго, имеет возможность сначала осмотреть пляжи бывшего озера, а затем несколько каналов, которые соединились в главном выходе на станции Саг ([табличка 20 А](#)).

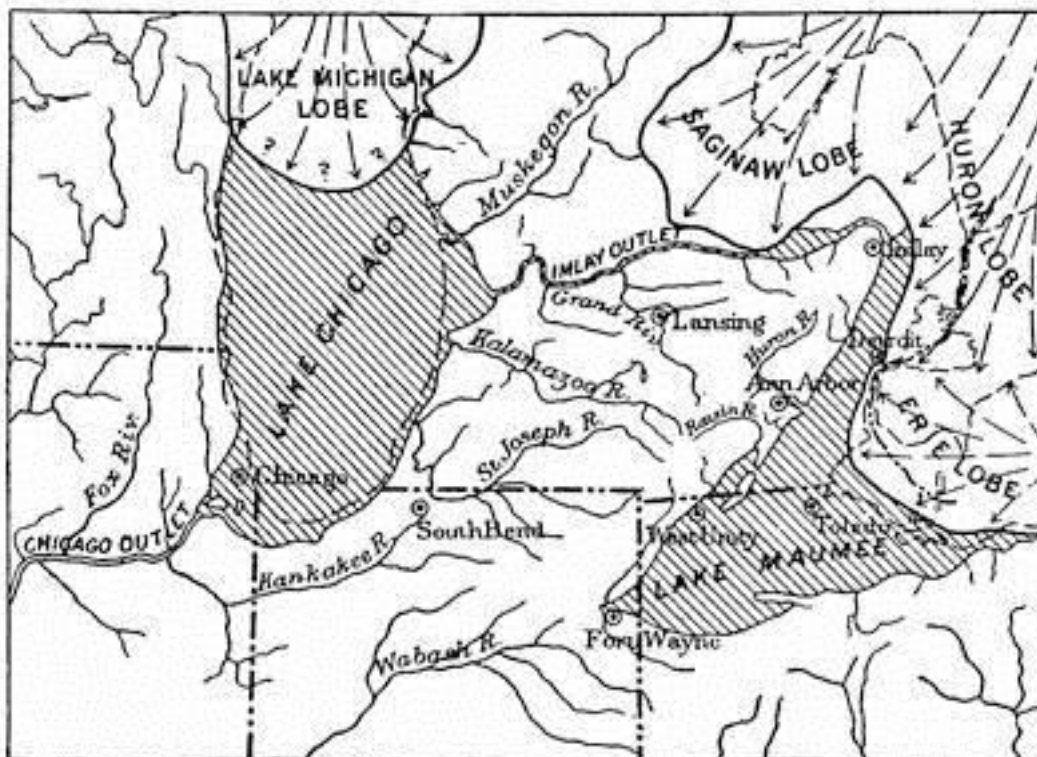


Рис. 361. Схема более позднего озера Моми и его “выхода из Имлея” в озеро Чикаго (после Леверетта).

На этом этапе нашей истории озеро Моми протянуло усохшую руку вверх мимо поселения Ипсиланти в Мичигане ([рис. 361](#)), а четко обозначенный пляж находится на Саммит-стрит напротив Государственного педагогического колледжа. Река Гурон, которая на первой

озерной стадии протекала по долине, ныне занятой рекой Раисин, на юг, в Индиану, теперь впадала непосредственно в залив на этом рукаве озера Моми и, таким образом, образовала дельту в Энн-Арборе.

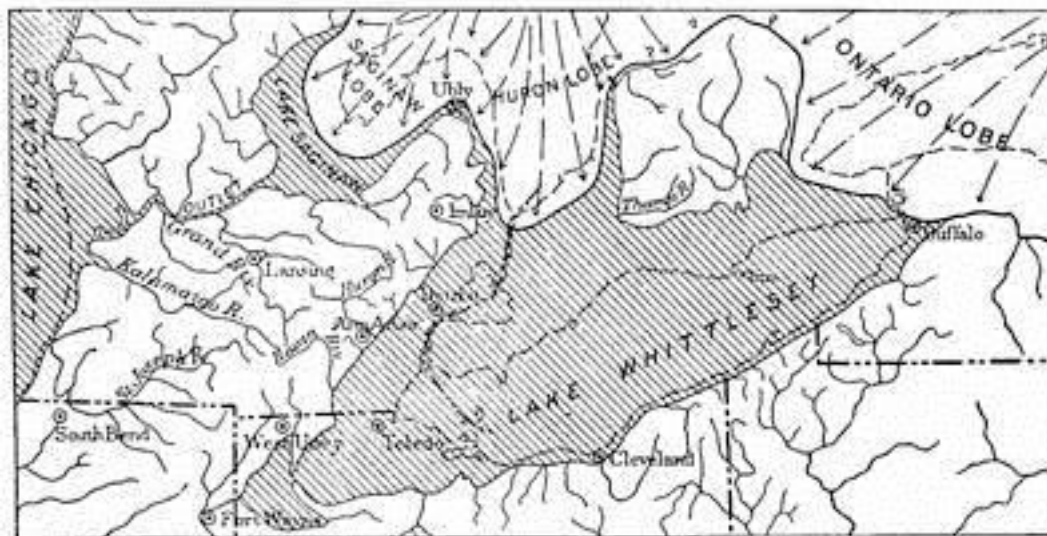


Рис. 362. Контурная карта озер Уиттлси и Сагино (по Леверетту).

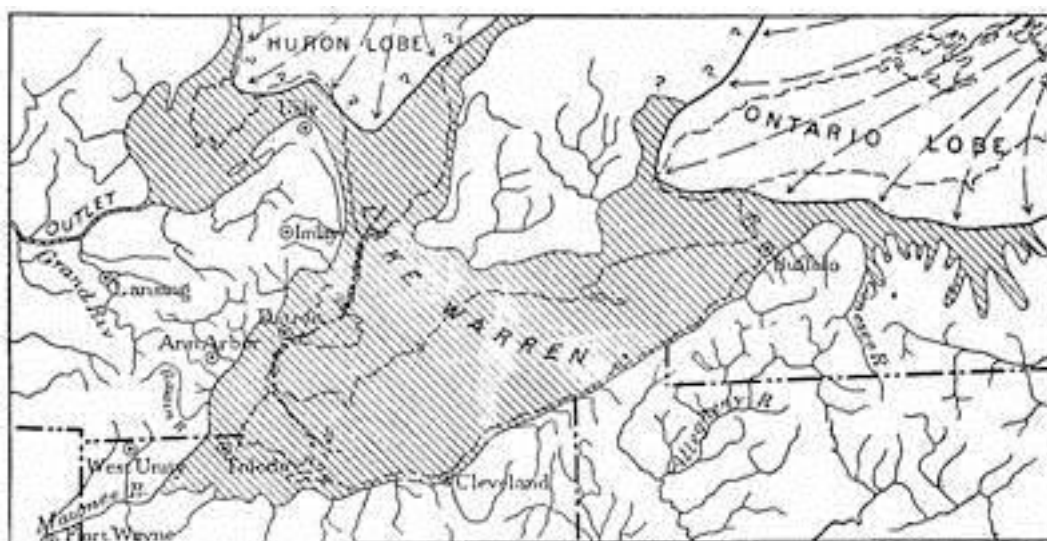


Рис. 363. Карта ледникового озера Уоррен, последнего из озер в бассейне Гурон—Эри, которое впадает в Миссисипи через “устье Гранд-Ривер” (после Леверетта).

Озера Аркона и Уиттлси.— Фронт льда в бассейне Гурон-Эри в настоящее время отступил настолько далеко, что подтопленные воды, вместо того чтобы следовать более прямым путем “Имлейский выход” в Гранд, прошли на более низком уровне полностью вокруг “большого пальца” Мичигана в бассейн Сагино. Тем временем в этом бассейне образовалось озеро в форме полумесяца, так что теперь воды бассейна Мауми были объединены с водами бассейна Сагино в общее озеро, точно так же, как понижение уровня воды в Глен-Рое привело к объединению с водами Глен-Гластера в примере, приведенном для иллюстрации. Наши записи об этом третьем озерном этапе в Северной Америке, называемом озером Аркона, однако, наиболее несовершенны по той причине, что за ним последовал повторный сдвиг ледяного фронта, который закрыл проход вокруг “большого пальца” и поднял уровень воды до тех пор, пока не был найден выход за городом Убли на более низком уровне, чем “выход Имлея”. Когда воды озера таким образом поднимаются, образуются мощные

пляжные образования, и те, которые относятся к этой стадии, известной как стадия озера Уиттлси, являются самыми сильными из всех, которые встречаются в бассейне Гурон-Эри. Этот пляж, пролегающий на протяжении примерно трехсот миль по южной и западной окраинам озера Эри, на большей части является знаменитой “ридж-роуд” (рис. 362).

Озеро Уоррен.— Когда наступление льда, образовавшего озеро Уиттлси, подошло к концу, нормальная рецессия возобновилась, и озеро снова сформировалось как единое целое с бассейнами Сагино и Эри. Это озеро, известное как озеро Уоррен, протянуло уменьшенный рукав далеко на восток вдоль ледяного фронта в западную часть Нью-Йорка, хотя вход в великую долину Могавк по-прежнему был перекрыт (рис. 363).

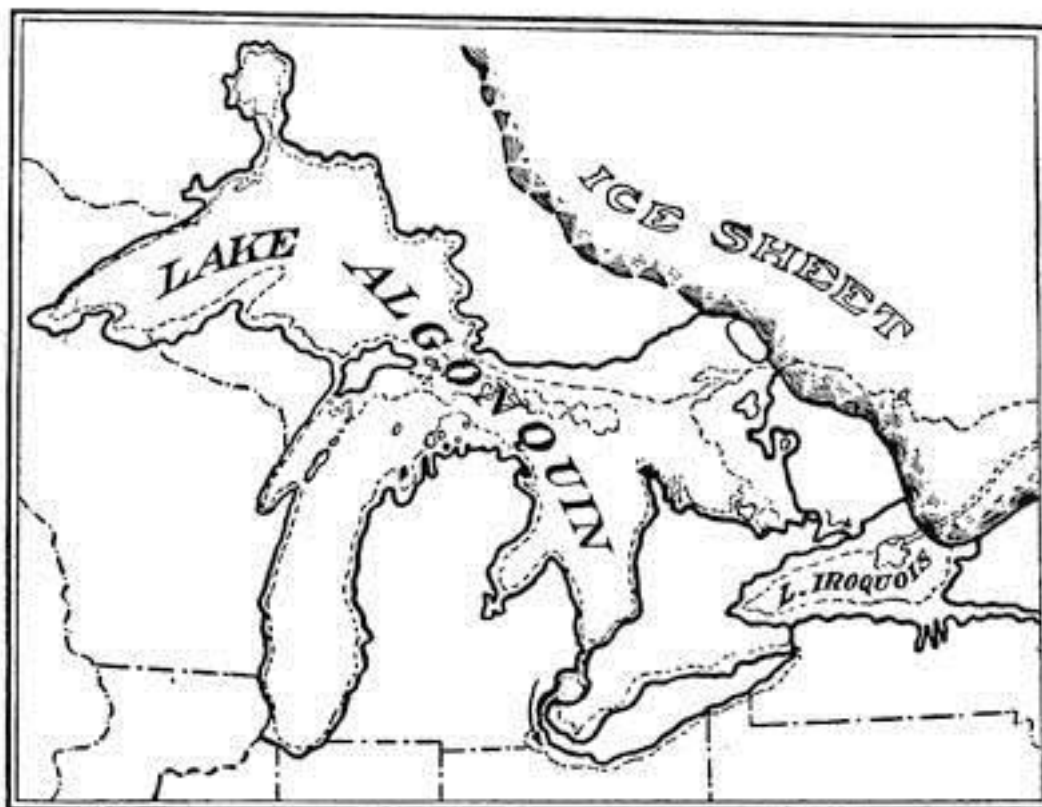


Рис. 364. Карта ледникового озера Алгонкин (по Леверетту).

Озера ирокезов и алгонкинов. Должно быть очевидно, что к концу этапа озера Уоррен неизбежны были глубокие изменения — смещение ледниковых вод с их русла в Миссисипи и Персидский залив в желоб, который пересекает штат Нью-Йорк и впадает в Атлантику. Как только фронт льда отступил достаточно, чтобы обнажить русло Мохока, был найден выход по этому маршруту и его продолжению вниз по долине Гудзона к морю. Бассейн озера Онтарио теперь был занят значительно более крупным водоемом, известным как озеро Ирокез, и три верхних озера, затем объединившихся в озеро Алгонкин, сбрасывали свои объединенные воды в озеро Ирокез сначала по большому каналу, который теперь четко обозначен через Онтарио в русле реки Трент и озера Симко, так называемому “выходу Трента”. В то время бассейн этого озера, вероятно, занимало меньшее по размеру озеро Эри, а позже выход Трента был заменен выходом Порт-Гурона (рис. 364).



Рис. 365.— Контурная карта Великих озер Ниписсинг с их выходом за Северный залив в море Шамплейн.

Великие озера Ниписсинг.— Теперь мы шаг за шагом проследили за отступлением ледяного фронта через долину системы Святого Лаврентия. Последовательное разблокирование выходов открывает лишь одну дополнительную возможность — открытие Френч-Ривер-озера Ниписсинг- реки Оттава, или “выхода из Северной бухты”. Хотя сегодня это не так, русло этого древнего канала было тогда намного ниже, чем у “устья Могавка”, и как только ледник при своем отступлении обнажил этот северный канал, воды верхних озер вышли через него мимо Оттавы в морской рукав, который тогда занимал нижнюю часть долины Святого Лаврентия и был назван заливом Шамплейн или морем (рис. 365). Уровень воды был понижен, и площадь озер соответственно уменьшилась.

Читателю, у которого не было возможности наблюдать эти древние каналы, по которым неслись вздувшиеся воды бывших ледниковых озер, будет интересно узнать, что каждое из них было приспособлено инженерами для улучшения в качестве искусственных водных путей. Таким образом, у нас есть дренажный канал Иллинойса и проектируемый судоходный канал вдоль “Чикагского выхода”, проектируемый канал Миссисипи-озеро Эри вдоль “выхода Форт-Уэйн”, проект канала Гранд-Ривер, соединяющий озеро Мичиган и залив Сагино вдоль “выхода Гранд-Ривер”, канал Трент вдоль “выхода Трент”, канал Эри вдоль “выхода Могавок” и, наконец, предлагаемый судоходный канал Джорджиан-Бей с океаном вдоль “Северного залива” или “выхода Ниписсинг”.

Краткое описание этапов прохождения озера.—Мы опустили в этом кратком обзоре поздней истории озера в Лаврентийской котловине все менее важные озерные этапы, включая некоторые переходного характера, которые были представлены пляжами и выходами, легко прослеживаемыми сегодня. Это связано с тем, что это всего лишь наброски, которые, по-видимому, лучше всего представить, и эпизоды этой сокращенной истории можно свести в таблицу следующим образом:

ЭПИЗОДЫ ИСТОРИИ ЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА

Дренаж Миссисипи

Озеро Моми (раннее), аутлет в Форт-Уэйне.

Озеро Моми (позднее), аутлет в Имли-Сити.

Озеро Аркона, выход “большого пальца”.

Озеро Уиттлси (с обнажением ледника), устье реки Убли.

Озеро Уоррен, выход “большого пальца”.

Атлантический дренаж

Озера ирокез и Алгонкин (раннее), выходы Трента и Могавка.

Озера Ирокез и Алгонкин (позднее), Порт-Гурон и Могавк-аутлеты.

Великие озера Ниписсинг, выход из Северной бухты.

Постоянные изменения дренажа, вызванные ледником.— В то время как история озера, которую мы в общих чертах обрисовали, состоит из эпизодов, которые сохранялись только тогда, когда фронт льда лежал между определенными станциями при своем отступлении, тем не менее, это привело к глубочайшим из постоянных изменений в дренаже региона. По картам можно восстановить лишь частично доледниковый дренаж северо-центральных штатов, но мы, по крайней мере, знаем, что он отличался настолько, насколько это возможно, от того, что мы находим сегодня. Реки Миссури и Огайо сегодня протекают вдоль границы оледеневшей области, унаследованной от пограничного стока ледникового периода. В пределах оледенелых регионов реки во многих случаях были вынуждены из-за моренных преград входить в новые русла или даже двигаться в противоположном направлении по своим прежним руслам. В районах со значительным рельефом эти отклонения иногда приводили к тому, что ручьи перехлестывали через стены глубоких долин, и можно честно сказать, что мы многим из наших самых красивых пейзажей отчасти обязаны образованию ледников, но особенно каскадам и водопадам непосредственно из-за их вмешательства в дренаж.

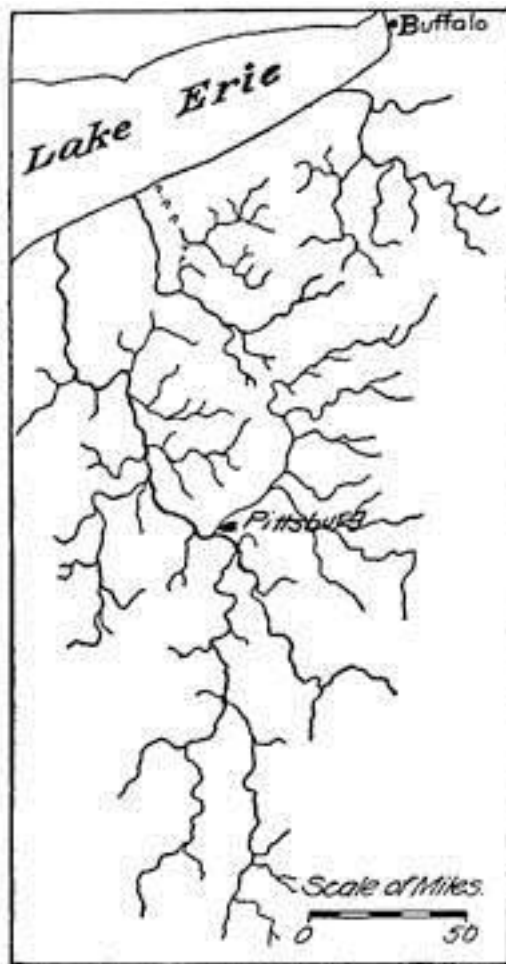


Рис. 366. Вероятный доледниковый дренаж региона верхнего Огайо (после Чемберлина и Леверетта).

Многие отклонения или развороты бывших дренажных линий под влиянием континентального ледника сразу же наводят на мысль об аномальных руслах рек, которые появляются на наших картах, и правильность этих предположений часто может быть подтверждена очень простыми наблюдениями, сделанными на местности. Карта на [рис. 366](#) показывает, насколько отличался доледниковый дренаж региона верхнего Огайо от современного.

Интересный дополнительный пример дает река Стилл, которая в Коннектикуте является притоком Фармингтона и не менее примечательна своим неправильным направлением на север и медленным течением, увековеченным в ее названии, чем способом, которым она соединяется с системой Фармингтон ([рис. 367 А](#)). Тщательное изучение района показало, что река Стилл когда-то была частью Наугатака и текла на юг к проливу Лонг-Айленд, как и другие реки округа ([рис. 367 В](#)). Однако у нее было преимущество в узком поясе более мягких пород вдоль своего русла, и благодаря этому преимуществу она захватила часть одного из притоков Фармингтона ([рис. 367 С](#)). Континентальный ледник позже покрыл этот регион и при своем отступлении заложил моренные заграждения непосредственно поперек этой реки, а также в верховьях отрубленного рукава притока Фармингтона ([рис. 367 D](#)). Ныне подтопленные воды нашли свой самый низкий выход возле Сэнди-Брук, и в виде водопадов и каскадов река, теперь обращенная вспять, опускается на сто футов до русла этого ручья. С помощью превосходных топографических карт, которые сейчас предоставляются щедрым

правительством по чисто номинальной цене, такие фрагменты недавней истории можно прочесть во многих местах ледникового региона.

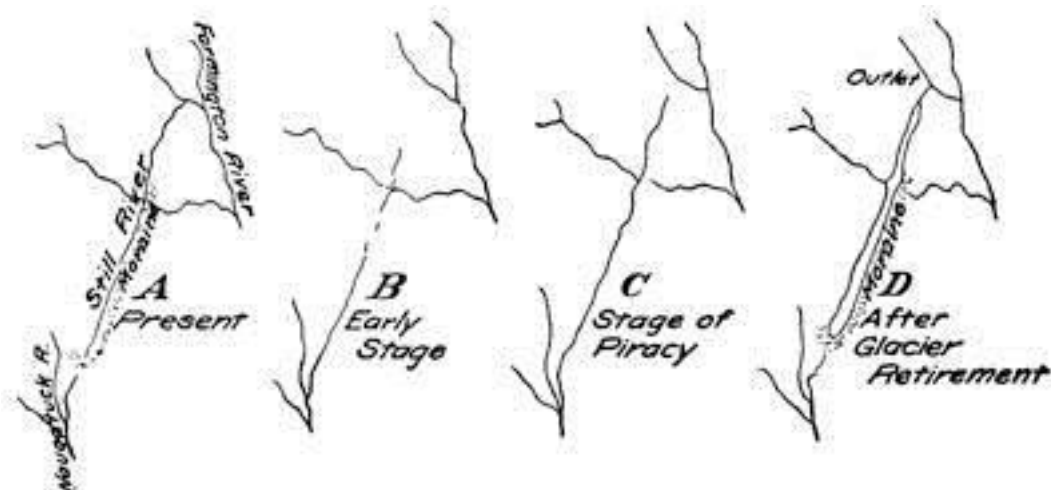


Рис. 367. Диаграммы, иллюстрирующие эпизоды недавней истории реки Стилл, притока Фармингтона в Коннектикуте. А, текущий дренаж; В, ранняя стадия; С, после захвата притока Фармингтона; D, после блокирования моренными завалами ледникового периода.

Ледниковое озеро Оджибуэй в бассейне Гудзонова залива.— Когда, пройдя над “возвышенностью суши” в северном Онтарио, сильно уменьшившийся континентальный ледник освободил дренаж бассейна Святого Лаврентия, он смог задержать те воды, которые обычно стекали в Гудзонов залив. Возникшее затем озеро называлось озером Оджибуэй и было последним из всей серии. Несмотря на недавнее открытие в стране, до недавнего времени являвшейся непроходимой пустошью, ее продолжением, по-видимому, были глинистые пласты, пригодные для земледелия. Пляжи и аутлеты еще предстоит нанести на карту, когда страна станет более доступной.

Список литературы для чтения главы XXIII

Параллельные дороги Глен—Роя:-

Чарльз Дарвин. Наблюдения за параллельными дорогами в Глен-Рое и других частях Лохабера в Шотландии с попыткой доказать, что они морского происхождения, Фил. Пер., т. 8, 1839, с. 39-82.

Луи Агассис. Геологические очерки, Бостон, 1876, том 2, стр. 32-76.

Т. Т. Джеймисон. О параллельных дорогах Глен-Роя и их месте в истории ледникового периода, Кварт. Jour. Геол. соц. Лондон, том 19, 1863, стр. 235-259.

Ледниковое озеро Агассис:—

Уоррен Апхэм. Ледниковое озеро Агассис. Понедельник, 25, Геология США. Обзор, стр. 658, стр. 38.

Ф. В. Сардесон. Начало и спад водопада Святого Антония, Булл. Геол. соц. Ам., т. 19, 1908, с. 29-36.

Ледниковые озера в долине Святого Лаврентия:—

Чемберлин и Солсбери. Геология, том 3, стр. 394-405.

Фрэнк Леверетт. Очерк истории Великих озер (Президентское обращение), 12-я республика. Mich. Акад. наук., 1910, с. 19-42. Плейстоценовые особенности и отложения района Чикаго. Чикаго, 1897, стр. 86, стр. 8 (Чикагское издание).

Х. Л. Фэйрчайлд. Ледниковые озера в западной части Нью-Йорка, Булл. Geol. Soc. Am., том 6, 1895, стр. 353-374, стр. 18-23; Ледниковые воды в центральной части Нью-Йорка. Вып. 127, Государственный музей Нью-Йорка, 1909, стр. 66, стр. 42 и карты в обложке.

Ранние озера в бассейне Эри:—

Фрэнк Леверетт. О соотношении морен с приподнятыми пляжами озера Эри, Am. Журнал научных исследований. (3), том 43, 1892, стр. 281-301.

Ф. Б. Тейлор. Великие ледяные плотины на озерах Моми, Уиттлси и Уоррен, Am. Geol., том 24, 1899, стр. 6-38, стр. 2-3; Отношение озера Уиттлси к пляжам Арконы, 7-е сообщение. Mich. Акад. наук, 1905, с. 30-36.

Фрэнк Леверетт. Фолио Энн-Арбор, фолио № 155, Геология США. Обзор, 1908, с. 10-12.

ГЛАВА XXIV

ПОДЪЕМ СУШИ В КОНЦЕ ЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА

Реакция земной оболочки на ее ледяную мантию.— В настоящее время есть веские основания полагать, что внешняя оболочка земли реагирует колебаниями уровня из-за нагрузки льдом, с одной стороны, и снятия этой нагрузки - с другой. По крайней мере, мы знаем, что как в северной Европе, так и в Северной Америке области, которые подверглись понижению во время ледникового периода и поднятию после него, близко соответствуют регионам, которые были покрыты льдом. Везде, где в этих регионах до появления льда был высокий рельеф, речные долины были затоплены на окраинах суши, а также образовали впадины в результате эрозии выходными языками на краю ледяного покрова. Такие бороздчатые и наполовину затопленные долины имеют характерное U-образное сечение, так что их стены отвесно поднимаются из моря. Из-за их типичного появления в скандинавских странах к ним было применено название *фьорд*.

Теперь не менее ясно, что удаление ледяного покрова вызвало на земле относительно быстрый отклик в виде подъема, который начался до того, как фронт льда пересек нынешнюю международную границу Соединенных Штатов, и что это поднятие продолжалось до окончательного исчезновения льда. Гораздо более медленный подъем, носящий несколько иной характер, продолжался даже по сей день.

Очевидно, что во время их образования все береговые линии, относящиеся к работе волн, должны были быть горизонтальными, и, следовательно, любые отклонения от идеального уровня, которые они обнаруживают сегодня, должны указывать на то, что с тех пор, как вода вышла из своих бассейнов, произошло наклонное движение грунта. Таким образом, мы получили полную информацию о местоположении этих древних водных плоскостей,

особенно из-за их широкой протяженности, точность которой трудно переоценить. Интерпретируя эту запись, мы обнаруживаем, что именно подъем суши к северу положил конец истории ледникового озера и положил начало нынешней системе дренажа Святого Лаврентия. Исток Великих озер Ниписсинг сегодня находится более чем на сто футов выше уровня истока в Порт-Гуроне, где верхние озера сейчас сбрасывают свои воды, и эта разница в уровне может быть объяснена только наклоном суши вверх после последней стадии ледникового периода.

Брошенные пряди в том виде, в каком они выглядят сегодня. Путешественник на пароходе по верхним озерам, когда он оказывается в пределах видимости каждого скалистого мыса, может заметить, что профиль на горизонте изрезан серией ступеней или террас (рис. 368), и если он следил за обсуждением в предыдущих главах, он заподозрит, что эти террасы отмечают ныне заброшенные береговые линии, которые приняли свое нынешнее положение в результате серии поднятий грунта, сопровождавшихся землетрясениями. Когда его пароход огибает берег, он может случайно заметить пещеру в скальном утесе, которая представляет собой ныне возвышающийся над морем свод древнего берега.

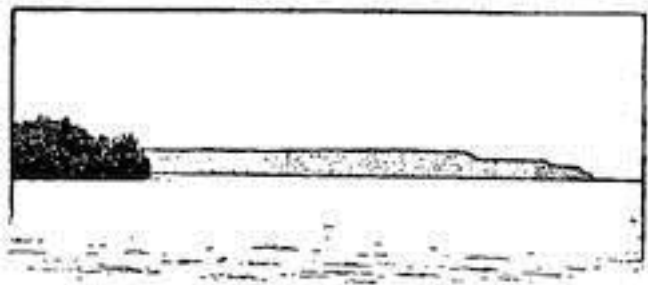
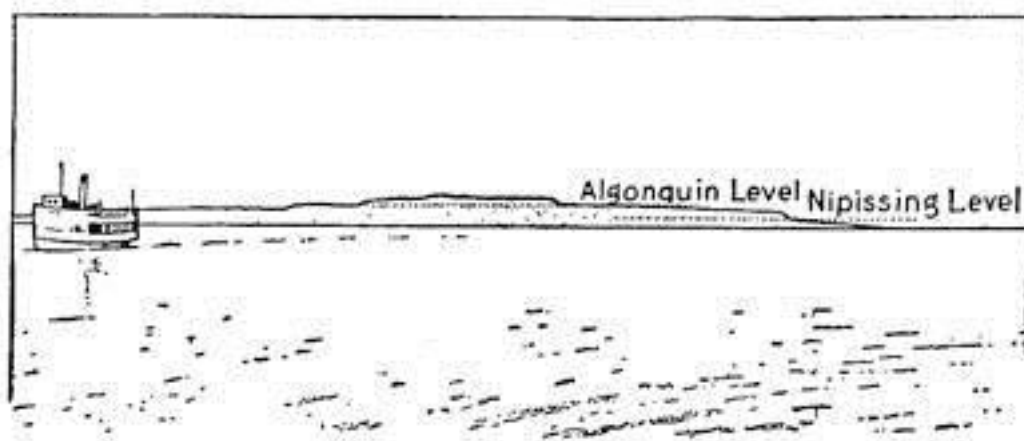


Рис. 368. Зубчатый скальный мыс Бойер—Блафф между Грин-Бей и озером Мичиган (после Голдтуэйта).

Сходя с парохода и отправляясь вглубь страны в любой точке, где берега высокие, путешественник наверняка наткнется на еще более убедительные доказательства существования древних отмелей; возможно, на штормовом пляже из безошибочно узнаваемой “галки”, хотя она может быть наполовину погребена под дюнами недавно нанесенного песка, или, возможно, на более высоких уровнях шоссе было прорублено через галечный барьер, такой же свежий и безошибочно узнаваемый, как если бы он образовался на нынешнем берегу. Иногда это скалистый утес и терраса, в других случаях барьерные гряды из гальки, или, опять же, это наклонный утес и терраса, вырубленные в дрейфующих отложениях; но какого бы рода они ни были, если изучать их с должным учетом топографии местности, свидетельства очевидны и безошибочны.

Записи о возвышении на острове Макино.—Нигде записи о недавнем поднятии озерного региона не читаются так легко, как об острове Макино в проливе, соединяющем озеро Мичиган с озером Гурон. Приближаемся к острову на пароходе из Сент. Игнаций, его профиль на горизонте заслуживает внимания (рис. 369). От центрального гребня, изрезанного незначительными неровностями и ограниченного со всех сторон утесом, профиль острова плавно спускается к еще более низкому утесу, под которым находится еще одна терраса.



На фиг. 369.—Вид на остров Макино со стороны ул. Игнас. Неправильная центральная часть - единственная часть острова, которая не была затоплена озером Алгонкин. Терраса у его основания представляет собой старую береговую линию озера Алгонкин, а нижняя терраса - берег озера Ниписсинг (по фотографии Тейлора).

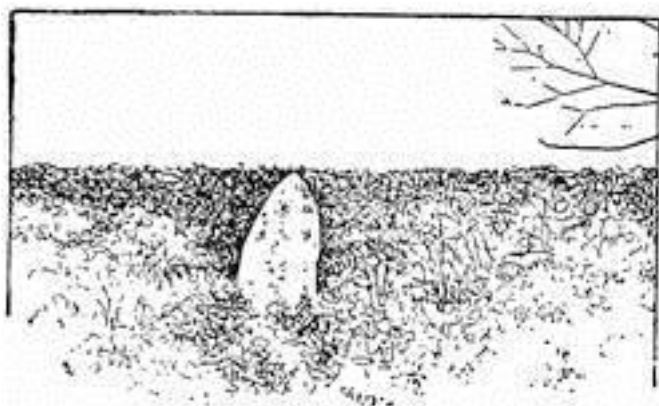


Рис. 370. — “Сахарная голова”, штабель у берега озера Алгонкин, как его видно из обсерватории на острове Макино (по фотографии Тейлора).

Когда мы достигли острова и поднялись на вершину, мы обнаруживаем там поверхность, характерную для эрозии проточной водой, тогда как на более низких уровнях обнаруживаются формы, вырезанные или сформованные действием волн. Этот центральный “остров”, наложенный на более крупный остров, - это все, что возвышается над озером Алгонкин, самым ранним из ледниковых озер в этом северном округе; и когда мы смотрим из обсерватории на вершину, легко вызвать в памяти картину страны, когда озеро находилось у подножия этого высочайшего утеса. На севере можно увидеть “Сахарную голову”, поднимающуюся из моря листвы, как раньше она поднималась из вод озера Алгонкин (рис. 370). Это огромный стог недалеко от бывшего берега острова. Если мы повернемся теперь на юг и направим наш взгляд в сторону Форта, мы увидим настоящую череду пляжных гальюновых гребней, расположенных подобно серии волн в пределах расчищенного пространства “Короткой мишени” (рис. 371). Эти хребты отмечают каждый этап в серии последовательных возвышений, которые привели остров к его нынешней высоте.



Рис. 371.—Вид с обсерватории на остров Макино через "Ближнюю мишенную дистанцию" в сторону Форта. На расчищенном пространстве последовательно появляются пляжные гряды (по фотографии Росситера).



Рис. 372.— Вырезанный стек Великих озер Ниписсинг в Сент-Игнасе. (по фотографии Тейлора).

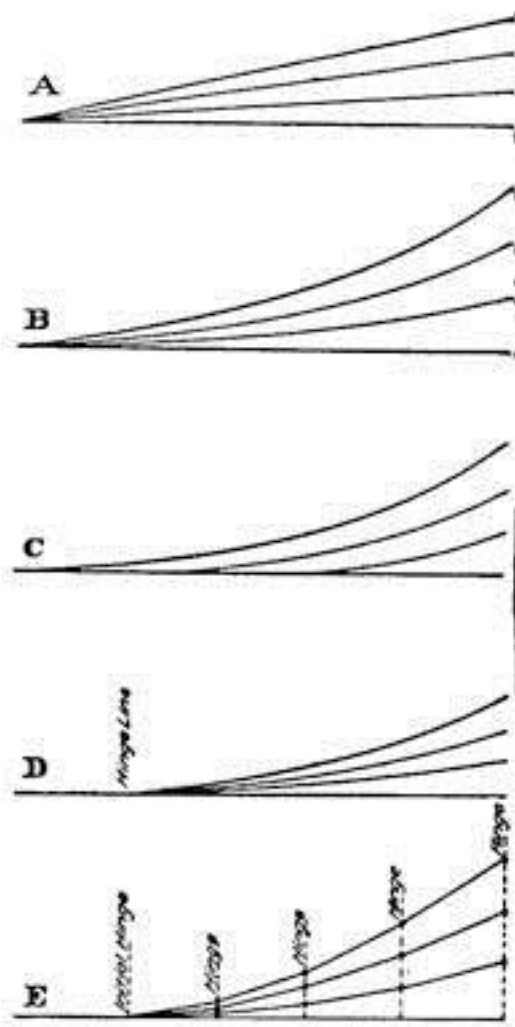


Рис. 373.— Серия диаграмм, иллюстрирующих эволюцию представлений о поднятии озерного региона после ледникового периода. А, простой наклон вверх на север (Гилберт); В, ускорение наклона вверх на север (Спенсер и Апхэм); С, “растущевывание” пляжей на север (Спенсер и Апхэм); D, петля, линия наклона вверх, обнаруженная в районе озера (Леверетт); Е, множественные и мигрирующие на север шарнирные линии наклона вверх (Хоббс).

Если теперь мы спустимся с нашей позиции и посетим "поле боя", то обнаружим там огромную ровную гряду, за которой располагались британские войска при обороне острова в 1812 году. Неподалеку в лесу находится Пульпит-Рок, поразительно идеальное место на берегу озера Ниписсинг. Через пролив в Сент-Игнас - еще более совершенный пример надрезанного стека (рис. 372). Другие, менее заметные пляжи, но все более поздние, чем озера Ниписсинг, располагаются между этим уровнем и нынешним берегом, отмечая этапы продолжающегося подъема суши.

Настоящие наклоны приподнятых прядей.—Недостаточно того, что мы должны были распознать следы бывших берегов, которые сейчас находятся на значительных высотах над существующими озерами; если мы хотим знать природу поднятия, мы должны подготовить точные карты, основанные на измерениях путем точного нивелирования во многих населенных пунктах. Такие методы, однако, сравнительно недавно нашли применение в этой области; и, как и при исследовании многих других проблем, более ранние наблюдения носили в основном характер рекогносцировок, при этом высота пляжей оценивалась только

сравнительно грубыми методами. Таким образом, эволюция идей, касающихся подъема, была постепенной.

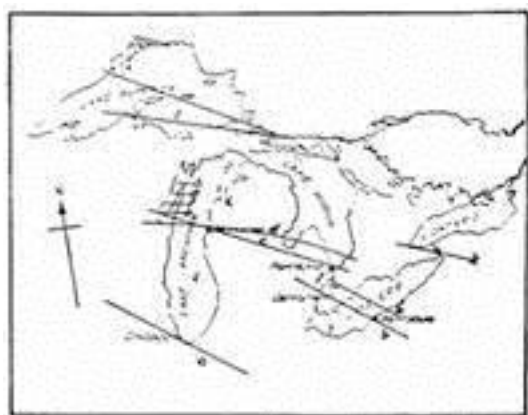


Рис. 374. Карта района Великих озер, на которой показаны изобазы и шарнирные линии наклона. *a*, изобазы Чикагского выхода; *b*, основная шарнирная линия пляжа Лейк Уиттлси (Леверетт); *b'*, шарнирная линия пляжа Лейк Уоррен (Тейлор); *c*, изобазы выхода Порт—Гурон; *d*, основная шарнирная линия пляжа верхний Алгонкин (Голдтуэйт); *e*, *f*, *g*, *h*, дополнительные шарнирные линии пляжей Алгонкин на полуострове округа Дор (Хоббс); *l*, изобазы выхода из озера Верхнее на пляжах Алгонкин (Леверетт); *m*, изобазы того же выхода на пляжах Ниписсинг (Леверетт).

Ранее было замечено, что пляжи, соответствующие данной стадии озера, были выше к северу и северо-востоку, и естественный вывод из этого заключался в том, что земная кора здесь была наклонена наподобие люка (рис. 373, А). Как мы увидим, это наполовину верное предположение привело к поразительному пророчеству, касающемуся будущих изменений в озерном регионе, которые, как мы теперь знаем, не подтверждаются фактами. Позже стало известно, что подъем берегов озера значительно ускоряется к северу (рис. 373, В), и что по мере продвижения в этом направлении из—под других пляжей появляются новые - к северу происходит “размывание” пляжей (рис. 373, С).

Шарнирные линии наклона вверх. Еще позже при изучении региона было выяснено, что ось, или точка опоры, вокруг которой был поднят регион, вместо того, чтобы лежать к югу от озерного края, как предполагал Гилберт, находилась внутри региона и примерно на полпути вверх по бассейну озера Мичиган (рис. 373, D и рис. 374). Аналогичным образом, в подъеме, последовавшем за отступлением ледников в северной Европе, была обнаружена определенная шарнирная линия движения.

Наконец, в результате использования точных методов нивелирования было показано, что в пределах региона протекает не одна, а несколько шарнирных линий движения, и что отдельные участки, на которые они делят территорию, каждый из них, в свою очередь, характеризуется повышенным наклоном по мере продвижения на север (рис. 373, E и рис. 374).

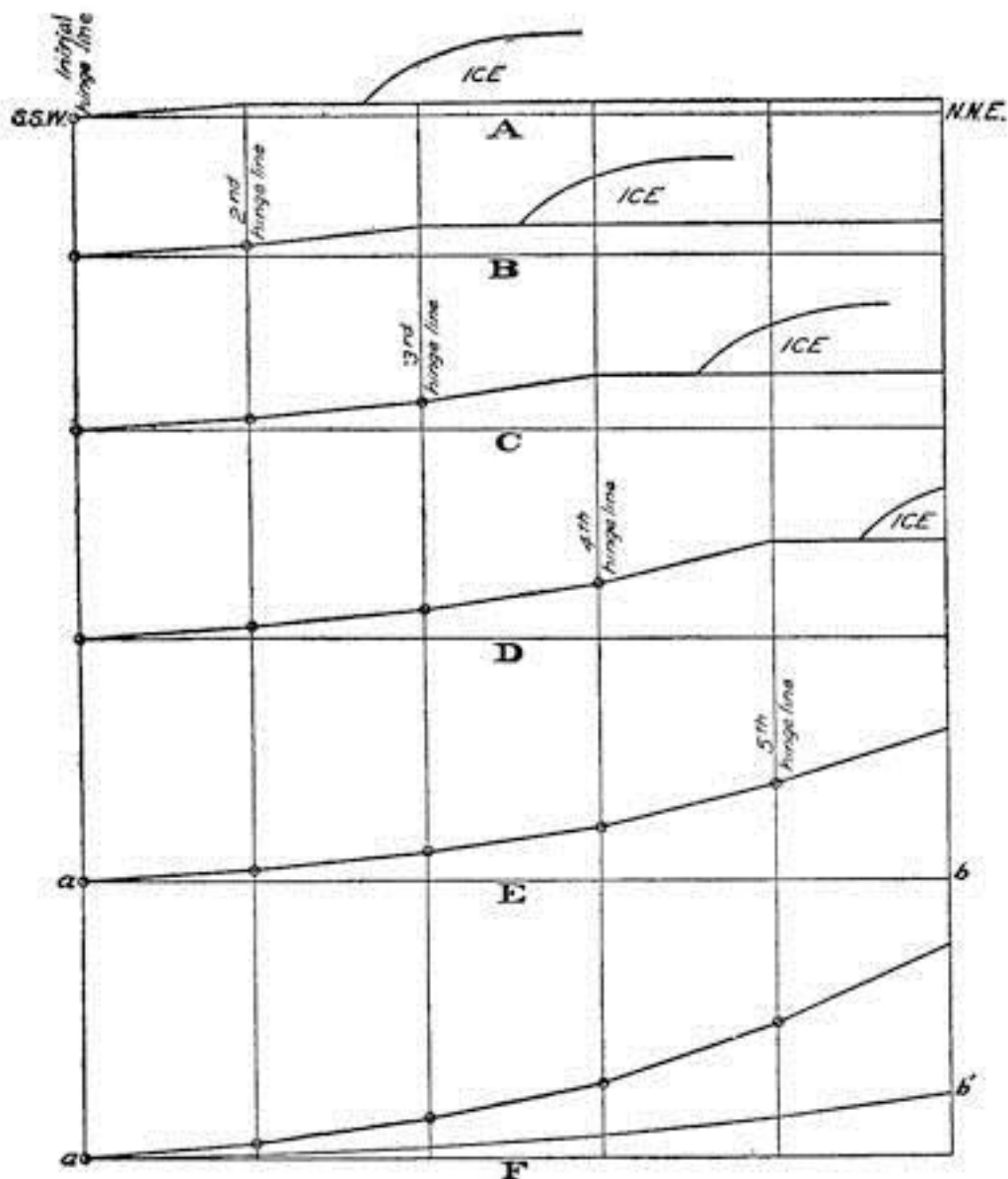


Рис. 375.— Серия идеалистических диаграмм, указывающих на природу быстрого восстановления земной коры путем подъема последовательно освобожденных от льда блоков. Дальнейший и более медленный наклон вверх, добавленный после завершения первого движения, показан на последней диаграмме (b).

Пляжи озера Моми, самого раннего из серии озер в пределах доли Гурон-Эри и в крайней южной части района Великих озер, демонстрируют лишь незначительный возможный наклон к северу, и хорошо заметная линия поворота, обнаруженная на пляже Уиттлси, свидетельствует о том, что упругий откат, так сказать, от веса ледника Мантлинг начался только после осушения озера Уиттлси. Определение Тейлором того, что в районе пляжа Уоррен имеется аналогичная начальная линия поворота — что эта полоса начинается примерно в пятнадцать миль к северо-востоку от пляжа Уиттлси, — имеет важнейшее значение для получения правильного представления о недавнем подъеме; поскольку оно показывает, что за осушением озера Уиттлси последовал период быстрого подъема и сейсмической активности, что стадия озера Уоррен была стадией сравнительной стабильности суши, и, наконец, что за осушением озера Уоррен последовал второй период быстрого подъема и землетрясения. Четко выраженные линии изгиба, дополнительные к первоначальной, указанной для пляжей Алгонкин в профилях Голдтуэйта с западного берега

озера Мичиган, если рассматривать их в свете миграции на северо-восток еще более ранней линии изгиба в южном округе, лучше всего объясняются предположением о последовательности быстрых восстановлений земной коры в результате поднятия, разделенных периодами относительной стабильности и вызванных поочередным удалением ледяного покрова с последовательных блоков панциря, которые разделены несколькими линиями изгиба (рис. 375).

Тщательное изучение эрозии на выходе из озера Агассис выявило идентичные перебои в процессе подъема в этом бассейне.

Будущие последствия продолжающегося подъема в районе озера.— Один из самых выдающихся американских геологов, доктор Г. К. Гилберт, чтобы определить, продолжается ли еще подъем, выявленный наклонными береговыми линиями, провел тщательное исследование записей измерений, сохранившихся на различных гидрометрических станциях в районе Великих озер. На основе этих исследований он пришел к выводу, что подъем продолжается, что оси равного подъема (изобазы) проходят примерно в пятнадцати градусах к северо-западу, так что линии наибольшего наклона должны быть перпендикулярны этому направлению, или в пятнадцати градусах к востоку от севера. Далее он полагал, что бассейн претерпевает подъем простым способом с помощью люка, петля которого находится к югу от Чикаго, а изучение данных о манометре привело его к выводу, что “скорость изменения такова, что два конца линии длиной в сто миль, лежащие в юго-юго-западном направлении, относительно смещаются на четыре десятых фута за сто лет”.

Пророчество Гилберта о будущем впадении Великих озер в Миссисипи.—

Естественный скальный выступ, по которому воды озера Чикаго когда-то впадали в Миссисипи, сегодня находится всего на восемь футов выше обычного среднего уровня озер Мичиган и Гурон, и если наклон озерного региона продолжится, исходя из предположения Гилберта о наклонной плоскости с шарниром движения к югу от Чикаго, должно наступить время, когда “Чикагский выход” снова войдет в обиход и озера больше будут стекать в Миссисипи и Персидский залив. Основываясь на своих измерениях, Гилберт рискнул предсказать, что первый паводковый сброс воды в Миссисипи произойдет через пятьсот-шестьсот лет, а для непрерывного сброса - через полторы тысячи лет. Через две с половиной тысячи лет Ниагарский водопад должен был пересохнуть по этой причине в периоды отлива, а через три с половиной тысячи лет он должен был исчезнуть.

Это пророчество, исходящее от высокого научного авторитета и касающееся изменений, имеющих такое огромное экономическое и коммерческое значение, часто цитировалось и прочно завладело массовым воображением. Очевидно, это зависит от ныне опровергнутой теории о том, что бассейн озера был наклонен *в виде плоскости* и что ось наклона лежит где-то к югу от озерного региона или, в любом случае, к югу от нынешнего выхода из Порт-Гурона. Сегодня мы знаем, что вместо того, чтобы быть равномерно распределенными по всему озерному региону, подъем происходит с гораздо большей скоростью в северных районах, и что с ранней стадии развития озера Уиттлси шарнирная линия подъема неуклонно перемещалась на север с отступлением льда и сейчас находится значительно севернее нынешнего выхода. Следовательно, нет известного подъема района, отделяющего нынешний выход из Чикаго от бывшего, и нет очевидной естественной причины, которая должна была бы привести к повторному заселению старого выхода из Миссисипи. Это пророчество следует рассматривать как переросшее вместе с прогрессом науки.

Геологические свидетельства продолжающегося поднятия.—Недавно было заявлено, на основе пересмотра результатов исследования Гилбертом данных о толщине озера, что его

методы открыты для серьезной критики и что в действительности цифры не свидетельствуют о продолжающемся подъеме региона. Как бы то ни было, нет недостатка в геологических свидетельствах, которые не допускают сомнений, и они поразительным образом подтверждают последние выводы о характере недавнего поднятия.

Если наши выводы были верны, то несколько озерных бассейнов теперь должны вести себя по-разному в отношении изменений на своих берегах. Если верно, что линии наибольшего подъема проходят с севера на северо-восток, то, говоря в широком смысле, должно произойти “перетекание” вод на юго-юго-западные берега и обнажение северо-северо-восточных береговых террас бассейнов. Это, однако, должно быть справедливо только для бассейнов, выходы из которых расположены к северо-востоку от существующей основной поворотной линии подъема. Озеро Гурон, имеющее выходное отверстие на южной окраине своего бассейна, не должно допускать, чтобы его воды достигали южного берега по той простой причине, что любое продолжающееся поднятие бассейна может привести только к проливу большего количества воды через выходное отверстие. Озеро Мичиган и залив Сагино, являющиеся рукавами бассейна реки Гурон, должны были бы, однако, затопиться у своих южных берегов, *если бы не то, что сегодня линия подъема проходит к северу от выходного отверстия в Порт-Гуроне, и, более того, что русла двух соединяющихся каналов все еще находятся ниже порога выходного отверстия.* В настоящее время имеются данные, свидетельствующие о том, что на чикагском берегу озера Мичиган не происходит проникновения воды, и хотя берега залива Сагино настолько чрезмерно плоские, что обнаруживают незначительные изменения уровня в результате крупных миграций стрэнда, все же древние столбы меандра, зафиксированные ранними исследованиями, все еще находятся у кромки воды.

Затопление юго-западных берегов озер Верхнее и Эри.—В бассейнах, занятых озерами Верхнее и Эри, наблюдается совершенно иная ситуация. В каждом случае выход находится на северо-востоке ([рис. 374, стр. 345](#)), и северо-западный тренд изобазий от этих выходов отвечает за продолжающийся подъем от наклона выходов относительно западного и южного берегов. В результате воды вторгаются на эти берега, и реки, которые там впадают в озеро, затопляются в своих устьях с образованием эстуариев. На озере Верхнее эти изменения очень заметны близ Дулута и особенно в реке Сент-Луис, в пределах которой со времени заключения раннего договора с индейцами исчезли некоторые пороги, а в русле реки теперь встречаются затопленные стволы деревьев. На дальнем востоке, вплоть до Онтонэгона, по существу, наблюдаются те же условия.

На берегах в районе Поркьюпайн-Маунтин уровень воды явно повышается. Здесь можно увидеть старые кедры, в некоторых случаях засохшие, но все еще стоящие вертикально на глубине от шести до восьми дюймов на расстоянии нескольких футов от нынешнего берега, в то время как другие вблизи берега, но на суше и все еще живые, омываются волнами и вследствие этого теряют нижнюю часть коры. Старую дорогу вдоль берега пришлось забросить из-за подступающей воды.

С другой стороны, на противоположном или северо-восточном берегу озера земля повсюду выступает из воды, и волны сейчас сооружают штормовые пляжи далеко за пределами изрезанной волнами террасы. Здесь ручьи, вместо того чтобы образовывать эстуарии путем затопления, порожиисто опускаются до уровня озера.

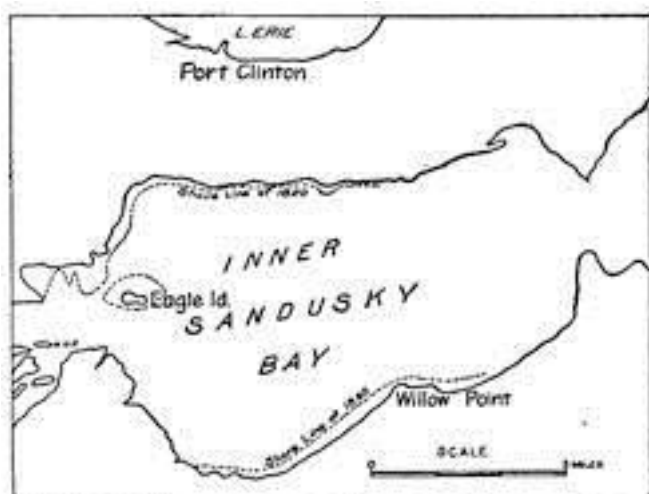


Рис. 376. Часть Внутреннего залива Сандаски, позволяющая сравнить береговую линию 1820 года с современной (после Мозли).

На юго-западной окраине озера Эри повсюду видны свидетельства быстрого наступления воды. В пещерах острова Саут-Басс сталактиты, которые, очевидно, образовались выше уровня озера, сейчас постоянно находятся под водой. Однако наиболее поразительные наблюдения были сделаны в заливе Сандаски на юго-западном берегу. Мозли собрал исторические записи об уничтожении лесных деревьев в результате затопления, которое было результатом продвижения воды к берегам. Из его исследований, по-видимому, следует, что в настоящее время уровень воды в заливе Сандаски поднимается со скоростью около 2,14 фута в столетие. На [рис. 376](#) приведено сравнение берегов внутреннего залива, разделенных интервалом примерно в девяносто лет.

Список литературы для чтения главы XXIV

Подъем в бассейне озера Агассис:—

Уоррен Апхэм. Ледниковое озеро Агассис, понедельник, 25, Геология США. Обзор, стр. 474-522.

Подъем в Лаврентьевской котловине:—

Г. К. Гилберт. Недавнее движение Земли в районе Великих озер, 18-я энн. Представитель США Геол. Обзор, 1898, Часть ii, стр. 595-647.

Дж. У. Спенсер. Деформация Алгонкин-Бич и др., Ам. Журнал. Наука. (3), том 41, 1891, стр. 14-16.

Ф. Б. Тейлор. Самая высокая старая береговая линия острова Макино, Ам. Журнал науки. (3), том 43, 1892, стр. 210-218.

А. К. Лоусон. набросок береговой топографии северной стороны озера Верхнее со ссылкой на заброшенные берега и т.д., 20-я энн. Репт. Геол. и Нац. История. Обзор. Миннесота, 1893, стр. 181-289, стр. 7-12.

Дж. Б. Вудворт. Древние уровни воды в долинах Шамплейн и Гудзона, Вып. 84, Нью-Йоркский государственный музей, 1905, стр. 265, стр. 28.

Э. Л. Мозли. Образование залива Сандаски и Сидар-Пойнта, Прок. Академия наук штата Огайо, том 4, 1905, часть v, стр. 179-238.

Ф. Э. Райт. Представитель. Геология. Обзор. Mich. за 1903, 1905, с. 37.

Дж. У. Голдтуэйт. Заброшенные береговые линии Восточного Висконсина, Bull. 17, Wis. Геол. и нац. История. Обзор., 1907, с. 134, стр. 37; Реконструкция водных плоскостей исчезнувших ледниковых озер в бассейне озера Мичиган, Журнал. Геол., т. 16, 1908, с. 459-476; Изобазы пляжей алгонкинов и ирокезов и их значение, Бюлл. Geol. Soc. Am., том 21, 1910, стр. 227-248, стр. 5; Инструментальная съемка береговых линий исчезнувших озер Алгонкин и Ниписсинг в Юго-западном Онтарио, Заметка 10, Департамент горных работ, Канада, 1910, стр. 57, стр. 4.

Уильям Х. Хоббс. Позднеледниковое и послеледниковое поднятие бассейна Мичигана, изд. 5, Мичиган. Геология. и биология. Обзор, 1911, с. 68, стр. 2.

Лоуренс Мартин. [Послеледниковые изменения в районе Великих озер и вокруг них], понедельник, 52, Геология США. Обзор, 1911, с. 455-459.

Подъем в северной Европе:—

G. de Geer. Четвертичные изменения уровня воды в Скандинавии, Бык. Геол. соц. Ам., т. 3, 1892, с. 65-68, стр. 2.

Х. Мунте. Исследования по позднечетвертичной истории Южной Швеции, статья № 25, Livret Guide, Cong. Géol. Междунар., 1910, стр. 96, множество табличек и карт.

ГЛАВА XXV

НИАГАРСКИЙ ВОДОПАД - ЧАСЫ НОВЕЙШЕГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ

Особенности Ниагарского ущелья и его окрестностей.—Яркий пример тех постоянных изменений дренажа, которые произошли в результате присутствия позднего континентального ледника в Северной Америке, можно найти в Ниагарском ущелье между озерами Эри и Онтарио. С помощью буровых установок были прорыты многие из ныне зарытых каналов региона, и в более позднем параграфе мы обратимся к некоторым более прочным линиям более ранней дренажной системы. Прежде чем приступить к изучению истории Ниагары, важно немного ознакомиться с современной топографией Ниагарского ущелья и его окрестностей.

Ниже нынешнего водопада река протекает по глубокому ущелью на протяжении примерно семи миль, прежде чем впадает в Льюистонский откос ([рис. 381](#), [стр. 355](#)). Это ущелье было прорезано в пластах скальных отложений, которые под пологим углом уходят на юг, к озеру Эри. Верхушкой скальной породы является компактный и относительно устойчивый известняк, известный как ниагарский известняк, под которым чередуются слои сланца с более тонкими слоями известняка и песчаника. Равнина, образованная верхней поверхностью известняковой шапки, заканчивается Льюистонским откосом, который проходит поперек направления ущелья и находится на расстоянии семи миль ниже

водопада. Глубина ущелья заметно варьируется, надводная часть представлена в верхнем конце высотой водопада в сто шестьдесят пять футов, в то время как в его нижнем конце около Льюистона она в два раза больше. На полпути вниз по ущелью делается крутой поворот под углом более девяноста градусов, и рукав выше по течению расширяется, образуя бассейн, в котором находится знаменитый водоворот. Это видимое продолжение верхнего ущелья продолжается в подземном канале, ущелье Сент-Дэвидс, которое простирается до откоса, расширяясь при этом в форме трубы. Материалы, заполняющие этот более ранний канал, представляют собой в основном крупные ледниковые отложения (рис. 389).

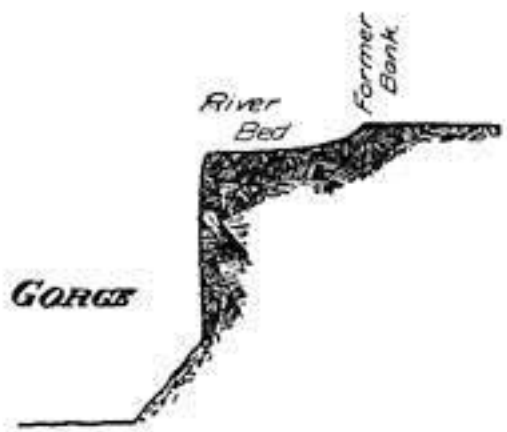


Рис. 377. Идеальное поперечное сечение ущелья Ниагара для отображения краевой террасы.

Непосредственно над водоворотом Ниагарское ущелье сначала сужается, но почти сразу же расширяется в виде сосиски, которая под названием Бассейн Водоворота простирается до суженного канала, занятого Водоворотными порогами. Это ущелье Водоворотных порогов простирается до железнодорожных мостов и немного выше них, где оно снова внезапно расширяется и углубляется и с удивительно равномерным поперечным сечением теперь продолжается до самого водопада. Этот самый верхний участок известен как Верхнее Большое ущелье. Примерно в миле ниже водоворота находится тот замечательный выступ в ущелье Канадской стены, который известен как Уинтергрин-Флэтс, ниже которого и ближе к реке находятся Фостерс-Флэтс. Почти на всем своем протяжении Ниагарское ущелье ограничено с обеих сторон узкой и пологой террасой, размытой ниже общего уровня равнины и сходящейся с ущельем под острым углом (рис. 377).

Особенности, непосредственно связанные с водопадом, показывают, что водопады сегодня находятся в состоянии, которое, насколько нам известно, случилось лишь однажды за всю их историю - воды реки неравномерно разделены островом, и по этой причине, как мы увидим, водопад впадает через боковую стену ущелья, а не в его конце (рис. 381), хотя поворот русла из—за этого сочетается с изгибом реки.



Рис. 378.—Вид русла реки Ниагара над водопадом, откуда была спущена вода при установке электростанции. Некоторые отделенные блоки известняка все еще находятся на месте (после Дж. У. Спенсера).

Бурение ущелья.—По-видимому, существуют два важных процесса, которые ответственны за спад водопадов, скорость которого в значительной степени определяется сопротивлением известнякового перекрытия и прочностью более рыхлого сланца под ним. Один из процессов эрозии действует снизу и подрывает перекрытие до тех пор, пока неподдерживаемый карниз не упадет блоками на дно ущелья; другой атакует непосредственно сверху, выбирая для этой цели линии трещиноватости породы, которые он расширяет раствором и коррозией до тех пор, пока включенные блоки не будут отделены друг от друга настолько, что они будут вырваны и перейдут за край водопада (рис. 378). Этот процесс воздействия мощных потоков прямо над водопадом еще лучше иллюстрируется водопадом Святого Антония близ Миннеаполиса, история спада которого аналогична истории спада Ниагарского водопада (рис. 379).



Рис. 379. Водопад Святого Антония, смотрящий на запад с острова Хеннепин в 1851 году (по Н. Х. Уинчеллу, дагерротип Хесслера из Чикаго).

Блоки покрывающего Ниагарский водопад известняка в некоторой степени фиксированы по размеру имеющимися в них плоскостями сочленения, и когда они падают на дно ущелья, они способствуют или замедляют дальнейшее падение водопада в зависимости от того,

могут они или не могут быть перемещены бурлящими потоками под водопадом. Иллюстрацией замедляющего эффекта является скопление блоков под Американским и промежуточным Лунными водопадами ([фото 23а](#)), которые более слабые течения на американской стороне считают слишком тяжелыми для обработки.

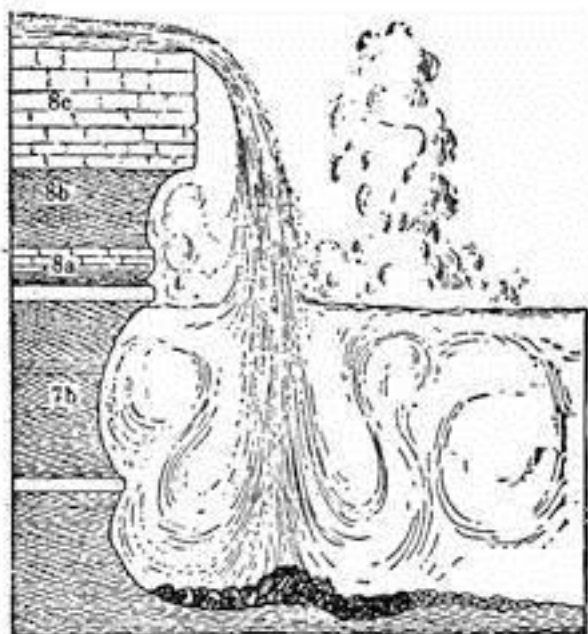


Рис. 380. Идеальный разрез, показывающий характер процесса сверления под катарактой.

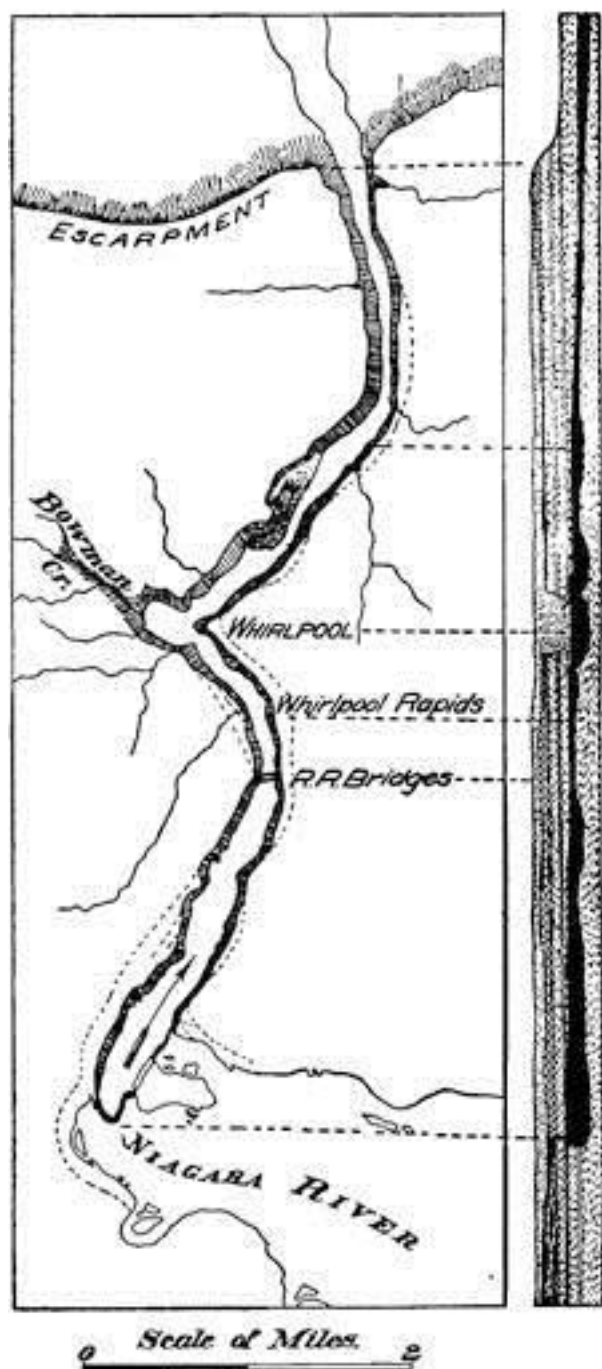


Рис. 381. План и разрез Ниагарского ущелья, показывающий, как на каждом участке глубина пропорциональна ширине, за исключением самого нижнего участка, где последующее действие реки обычного типа изменило русло канала (план по Тейлору и разрез по Гилберту).

Канадский водопад, обладающий гораздо большей силой, является примером продвижения рецессии из-за образования блоков у основания водопада. Здесь мы имеем дело с перфоратором, который пробуравливает дно ущелья с увеличивающимся радиусом вращательного движения с каждым увеличением объема падающей воды. При таком вращательном взбивании мягкие сланцы вырываются у дна и последовательно удаляются более твердые слои сверху, пока не будет достигнута укупорка (рис. 380). Условия, по-видимому, сейчас таковы, что эффективная работа в основном сосредоточена, как это

обычно и было, около середины канала; и поэтому ущелье отступает, а края более раннего русла реки остаются в виде террас с обеих сторон и простираются до бывшего берега реки (рис. 377).

Как следует отметить, одной из особенностей работы маслбойного бура под водопадом является то, что глубина ущелья будет прямо пропорциональна его ширине, и если объем воды менялся в процессе спада, эти изменения объема будут регистрироваться в ширине, а также в глубине того участка ущелья, который был пробурен в то время — поперечное сечение ущелья в любом месте пропорционально объему воды, попадающей в водопад, который его образовал, с учетом, однако, умения обращаться с соединительными блоками определенного типа. размер (рис. 381).

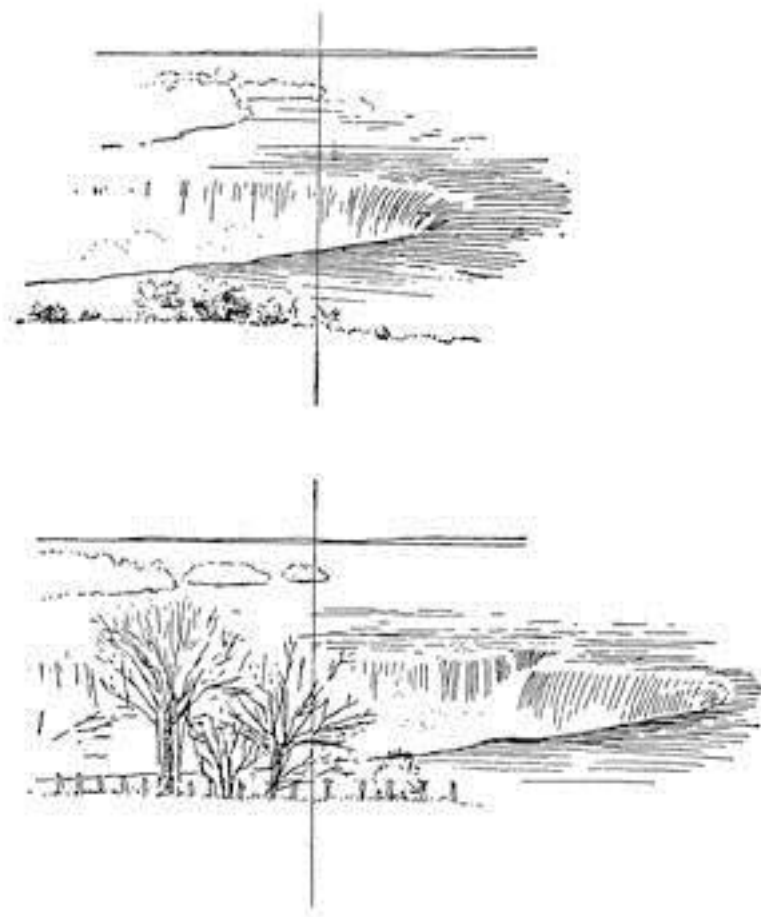


Рис. 382. Сравнение зарисовки Канадского водопада, сделанной с помощью камеры lucida в 1827 году, с фотографией, сделанной с той же точки обзора в 1895 году (после Гилберта).

Нынешние темпы рецессии. Существуют различные зарисовки, более или менее точные, сделанные в начале девятнадцатого века, а из более позднего периода есть дагерротипы, фотографии и карты, которые относятся особенно к Канадской осени; и которые, взятые вместе, делают возможным сравнение более ранних и более поздних рубежей. Сравнивая самые ранние виды с недавними, сразу видно, что Водопады отступают, причем с довольно заметной скоростью (рис. 382). Тщательное сравнение карт края Канадского спада, сделанных в 1842, 1875, 1886, 1890 и 1905 годах (рис. 383), показывает, что за рассматриваемый период скорость спада составляла около пяти футов в год, а аналогичные исследования, проведенные в связи с падением американского спада, показывают, что оно отступало всего на три дюйма в год, или на одну двадцатую от скорости спада канадского спада.

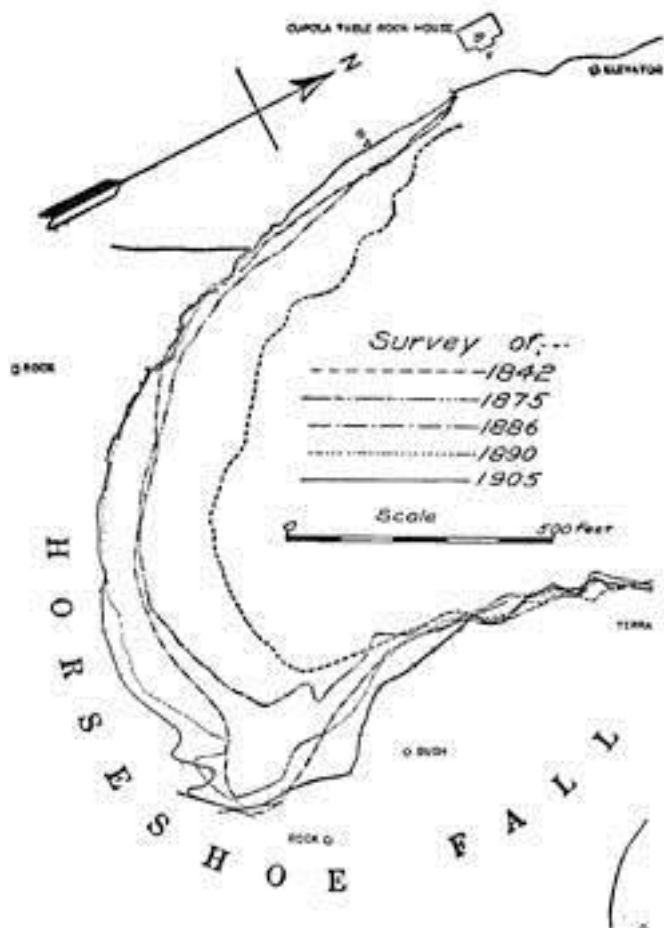


Рис. 383. — Карта, показывающая спад на грани падения Канады, основанная на картах разных дат (после Гилберта).

Будущее исчезновение Американского водопада.— Именно из-за этого во много раз более быстрого спада Канадского водопада ниагарский водопад, вместо того чтобы лежать поперек ущелья, входит в него сбоку. Таким образом, канадский водопад в действительности приближается к американскому, и уже можно приблизительно оценить время, когда этот более эффективный буровой инструмент приведет, так сказать, к захвату американского водопада путем перекрытия его водоснабжения. Затем его осушат и оставят буквально “высоким и сухим”, что является непреходящим свидетельством геологического влияния острова на неравномерное разделение вод для работы двух водопадов.

Как уже указывалось, неэффективность американского водопада в качестве эрозионного агента убедительно подтверждается стеной блоков, уже выступающей над водой под ним. Турист, который через тысячу лет посетит Ниагарский водопад, при условии, что водный поток останется таким, каким он был, обнаружит над этим валом блоков голый утес, частично подорванный и увенчанный почти плоской поверхностью стола, которая отделена от существующего водопада более высокой частью ущелья (рис. 384). Вполне вероятно, что эта таблица даст наиболее удовлетворительное представление о будущей катаракте на тот момент.

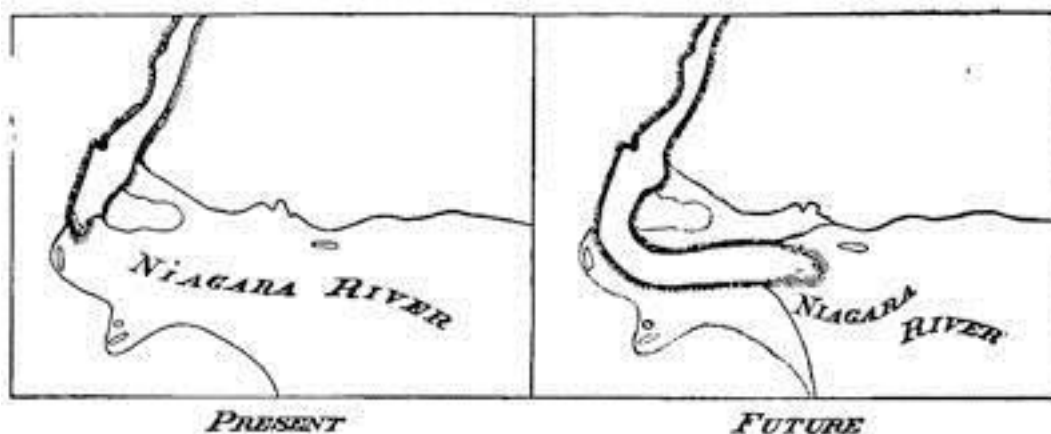


Рис. 384.—Сравнение настоящего с будущим падает.

Пойманные канадцы падают на Уинтергрин-Флэтс.—То, что мы предсказали относительно будущего нынешнего Американского водопада, будет лучше понято при изучении памятника более ранним снимкам, сделанным задолго до того, как была прорезана верхняя часть ущелья или возник водоворот. Затем роли поменялись, поскольку именно падение на канадской стороне ущелья было зафиксировано падением на американской. Местность известна как Уинтергрин-Флэтс, или иногда как Фостерс-Флэтс; хотя первое название правильно применимо к более высокой поверхности у края ущелья, а от Фостерс-Флэтс к более низкой равнине у уровня реки (см. [Рис. 381](#), [стр. 355](#)). Своеобразные топографические особенности этой местности хорошо видны на снимке Гилберта с высоты птичьего полета ([рис. 385](#)); фактически, в некоторых отношениях они лучше, чем кажутся туристу с земли, по той причине, что заброшенный канал и равнины на месте с тех пор подорванного острова покрыты густым лесом, и поэтому их нелегко включить в единый вид. Для того, кто изучал существующую катаракту, этот ранний памятник полон значения. Стоя, как ни странно, на самом краю бывшего водопада, легко вызвать в воображении величие прежних окрестностей и услышать грохот падающей воды. Особенно яркий штрих получается, когда, раскапывая песок вокруг огромных глыб упавшего известняка под краем, натыкаешься на панцири животного, все еще обитающего в реке Ниагара, хотя только в непрерывных брызгах под водопадом.

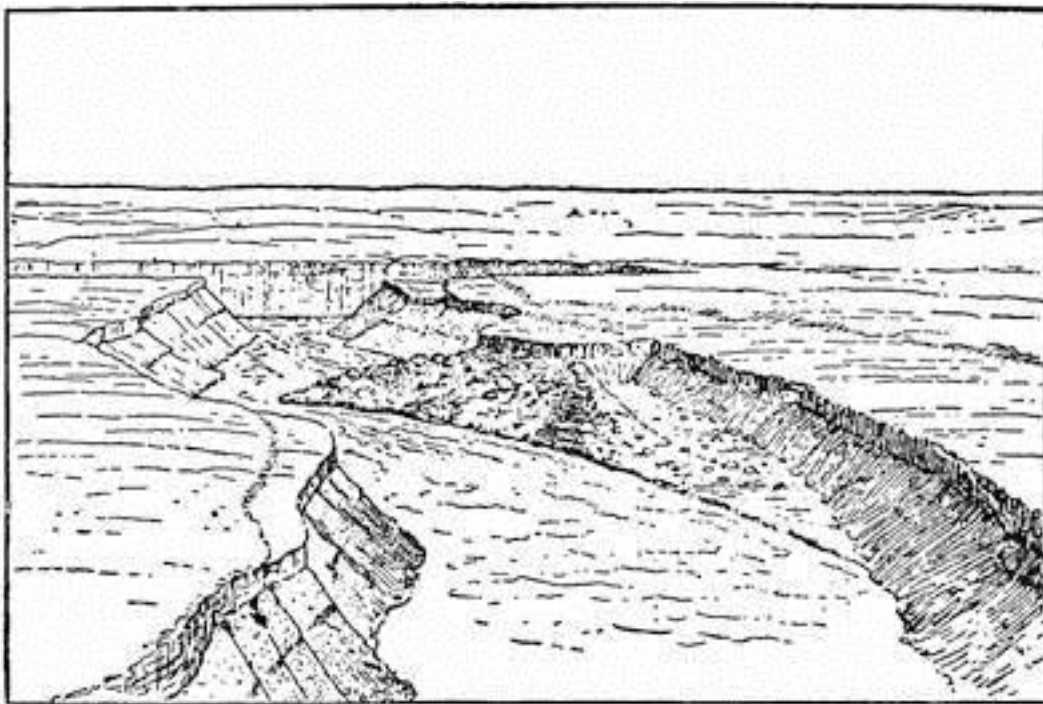


Рис. 385. Вид с высоты птичьего полета на заснятый канадский водопад в Уинтергрин Флэтс, показывающий участок русла реки над обрывом и глыбы упавшего ниагарского известняка, разбросанные по заброшенному каналу внизу (после Гилберта).

Бассейн с водоворотом, раскопанный в ущелье Сент-Дэвидс.—Уже указывалось, что скальный канал, ныне заполненный ледниковыми отложениями, простирается от бассейна Водоворота до края откоса в Сент-Дэвидсе (Рис. 389, стр. 363). В плане это погребенное ущелье имеет форму трубы, имея ширину более двух миль в устье и сужаясь до ширины верхнего ущелья, прежде чем оно достигнет Водоворота. Рядом с Водоворотом он был частично раскопан Боумен-Криком, что позволило выявить стены, которые хорошо покрыты льдом. Были высказаны разные мнения относительно происхождения этого канала, одно из которых заключается в том, что это русло либо доледниковой реки, либо реки, прорезанной между последовательными ледниковыми вторжениями; и другое, что это ущелье водопада, пробуренное между ледниковыми вторжениями по типу более позднего Ниагарского ущелья. В любом случае его контуры были сильно изменены более поздним ледником или ледниками, чья работа по выравниванию, полировке и расширению видна на открытых поверхностях; и не исключено, что водопад отступил по руслу более ранней речной долины.

Как мы увидим, есть факты, которые довольно ясно указывают на более ранний водопад, который закончил свой жизненный цикл непосредственно над нынешним Водоворотом. Когда более поздний Ниагарский водопад отступил почти до верхнего конца секции Бухты или вблизи нынешнего Водоворота, падающая вода, должно быть, была отделена от этого более древнего канала и его заполнения отложениями тилла только тонкой каменной стенкой, и это, должно быть, постоянно ослаблялось по мере дальнейшего уменьшения его толщины.

Когда эта ослабевшая плотина наконец прорвалась, это, должно быть, привело к катастрофическим последствиям. Вряд ли следует предполагать, что “промывка” древнего канала с образованием бассейна Водоворота могла занять более небольшой доли дня, хотя весьма вероятно, что разрушенная каменная перегородка под Водоворотом не была немедленно удалена полностью. Похожее на нижнюю челюсть окончание Водоворотной

впадины непосредственно над Водоворотом навело Тейлора на мысль, что водопад быстро восстановился в этой точке на последнем месте исчезнувшего водопада Сент-Дэвидс. При уменьшении мощности на короткий промежуток времени из-за препятствий, все еще остающихся в недавно разрушенной плотине ниже Водоворота, значительное сужение ущелья в этом месте было бы в достаточной степени объяснено.

Будучи вынужденным поворачивать более чем под прямым углом после входа в бассейн Водоворота, быстрое течение реки Ниагара вынуждено удваиваться у противоположного берега и нырять ниже набегающего течения, прежде чем выйти в Бухту ниже Водоворота (рис. 386).

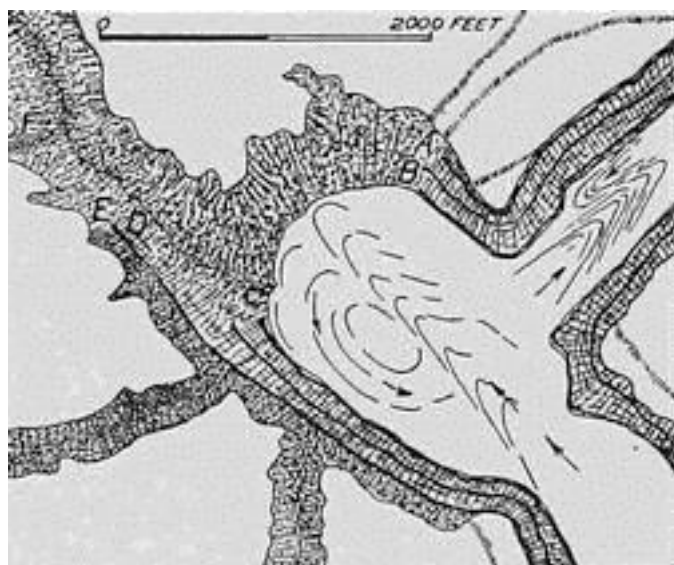


Рис. 386. Карта бассейна Водоворота, на которой показаны скальные боковые стенки, подобные стенам ущелья Ниагара, и отмель, образующая северо—западную стену (в честь Гилберта).

При разборке рыхлых отложений, заполнивших эту часть погребенного ущелья Сент-Дэвидс, осталось много валунов большого размера, которые соскользнули вниз по склону и со временем образовали броню вокруг более рыхлых отложений внизу, чтобы защитить их и предотвратить продолжение раскопок. Таким образом, обнаружено, что затопленная северо-западная стенка бассейна окружена валунами, достаточно большими, чтобы удерживать свое положение и, таким образом, останавливать естественный процесс вымывания россыпи в гигантских масштабах (рис. 386).

Формирование Льюистонского откоса.— Чтобы понять формирование Льюистонского откоса, вырубленного в твердом ниагарском известняке, необходимо рассмотреть геологию гораздо большей территории - региона Великих озер в целом. К северу от озер в Канаде находится древнейший континент, существовавший еще тогда, когда вся территория к югу лежала под водами океана. В период, во много раз более давний, чем события, которые мы обсуждаем, у берегов этой старой земли был отложен ряд неуплотненных отложений, которые, затвердев с течением времени и поднявшись, теперь представлены сланцами, песчаником и известняком, которые мы находим один над другим в ущелье Ниагара в том порядке, в каком они были отложены на дне океана. Образования, представленные в ущелье, являются лишь частью всей серии, поскольку другие более высокие элементы представлены скалами вокруг озера Эри и даже дальше к югу. Эти пласты, образовавшиеся на внешнем наклонном морском дне, имели небольшой первоначальный наклон к югу, и он, вероятно, был увеличен последующим подъемом, включая последний, который мы так

недавно обсуждали. В настоящее время русла наклоняются к югу под углом менее четырех градусов, или примерно на тридцать пять футов на каждую милю.

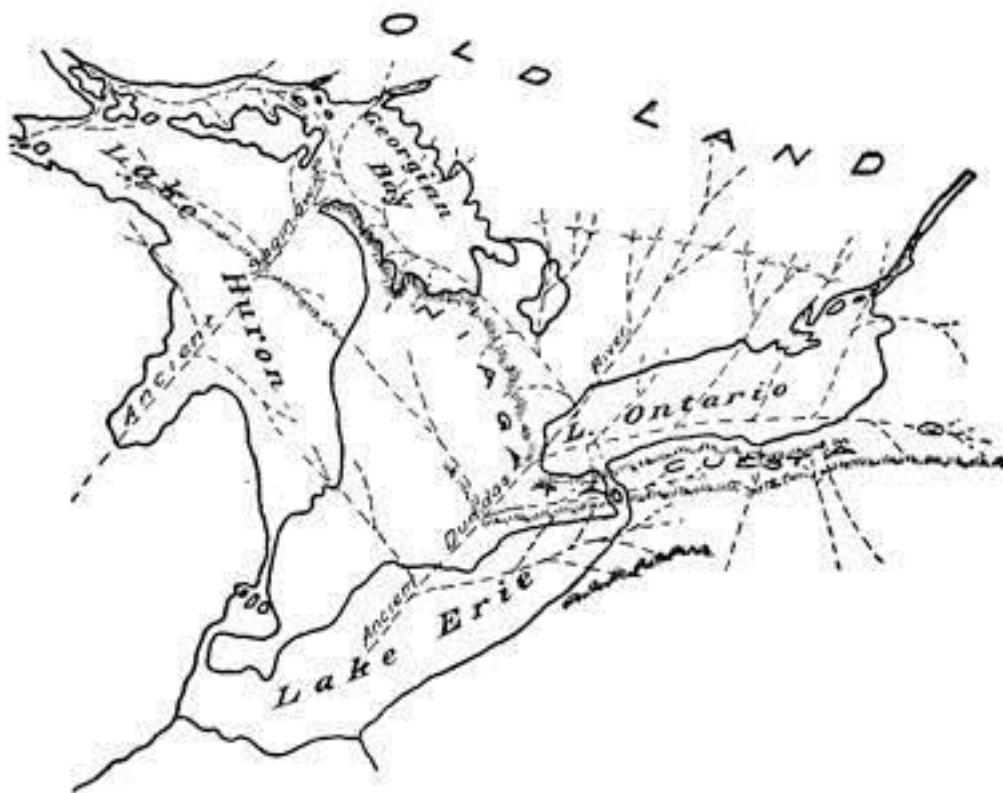


Рис. 387. Карта, показывающая куэсты, сыгравшие столь важную роль в установлении границ озерных бассейнов, а также основные доледниковые реки, по которым они были проложены (на основе карты Грабау).

Когда поднятие суши вблизи этого берега вызвало спад уровня воды, на границах старой земли образовалась прибрежная равнина, подобная той, которая сейчас находится на нашей атлантической границе между Аппалачами и морем ([рис. 272, стр. 246](#)). Реки из олдленда узкими канавами пересекают Ньюленд, и из-за более твердых известняковых образований их притоки постепенно отклонялись от своего прежнего русла, пока не впадали в магистральный поток почти под прямым углом и не образовали дренажную сеть, которая называется “решетчатый дренаж”. Характерно для этого дренажа то, что несколько притоков второго порядка будут течь вверх по естественному склону русел, но, напротив, эти естественные склоны повторяются в более мягких породах почти под прямым углом к притокам первого порядка величины ([рис. 387](#)). Таким образом образуется ряд более или менее параллельных уступов, образованных в более твердой породе и имеющих у своего основания низину, которая постепенно поднимается в направлении старой земли, пока не будет достигнут новый уступ в следующей нижней из твердых формаций. Такие плосковершие возвышенности, расположенные последовательно с промежуточными низменностями и разделенные острыми уступами, известны как *куэсты* (см. [стр. 246](#)) и границы Льюистонского уступа, образовавшегося в ниагарском известняке ([рис. 387](#) и [388](#)).

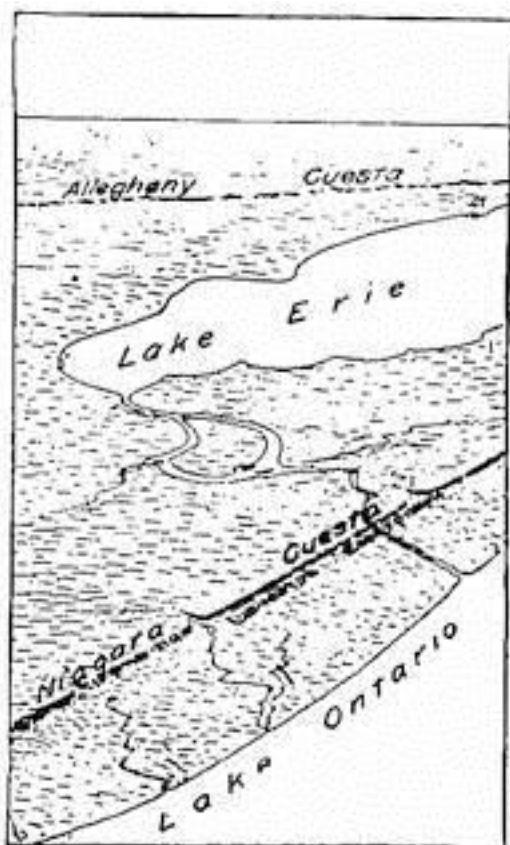


Рис. 388. Вид куэстаса к югу от озер Онтарио и Эри с высоты птичьего полета (в честь Гилберта).

Эпизоды истории Ниагары и их взаимосвязь с историей Ледниковых озер. — О ранних эпизодах истории Ниагары наши знания не столь совершенны, как хотелось бы, но более поздние события описаны полностью и заслуживают доверия. Рождение Водопада следует датировать временем, когда фронт льда здесь впервые отступил на территорию нынешней Канады, таким образом, впервые позволив водам из бассейна Эри сброситься через Льюистонский откос в бассейн новообразованного озера Ирокез ([рис. 364, стр. 334](#)). Поскольку уровень озера Ирокез был намного выше уровня нынешнего озера Онтарио, новорожденный водопад не был эквивалентен по высоте нынешнему откосу. Затем воды ирокезов затопили всю нижнюю часть откоса, так что подножие Водопада оказалось на границе озера.

Чтобы интерпретировать историю Ниагарского ущелья, мы должны помнить, что эффективное бурение этого ущелья на каждом этапе зависело главным образом от объема воды, сброшенной из озера Эри, причем большой сброс был зафиксирован каналом, пробуренным как в ширину, так и в глубину, в то время как сброс меньшего объема был соответственно узким и неглубоким. Кроме того, в наши дни ущелья большого поперечного сечения имеют относительно спокойную поверхность, тогда как через суженные участки вода реки не может пройти, не подняв предварительно свой уровень в верхнем конце и под напором, который, таким образом, образуется, устремляясь с увеличенной скоростью. Лучшей иллюстрацией такого суженного участка является ущелье Водоворотных порогов.

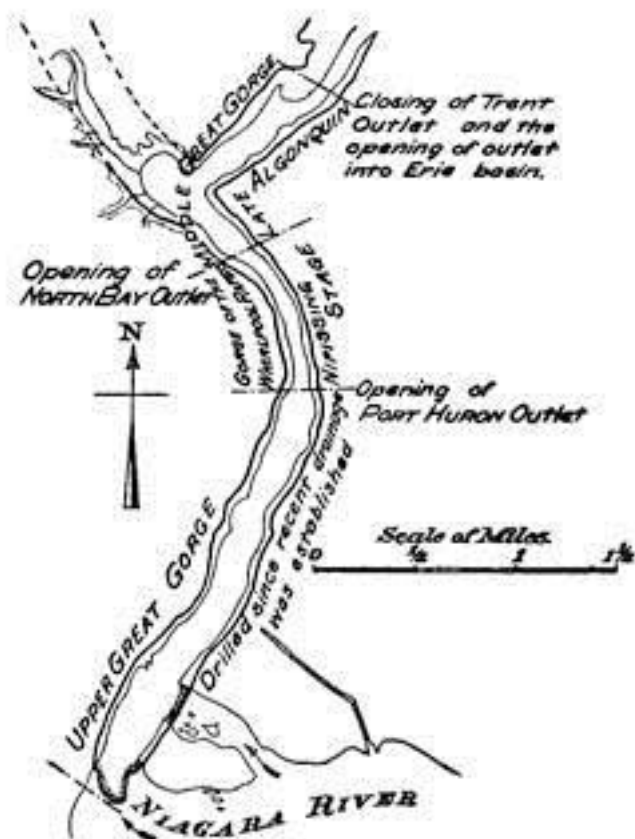


Рис. 389.— Схема большей части Ниагарского ущелья, чтобы показать изменения в поперечном сечении в их связи с историей Ниагары (на основе карты Тейлора).

Наше чтение истории должно начинаться с места нынешнего водопада, поскольку записи о более поздних событиях намного полнее и разборчивее, и в наши планы всегда должно входить переход от четко исписанных страниц к тем, которые наполовину стерты и неразборчивы.

Как мы узнали, наиболее резкое изменение поперечного сечения ущелья наблюдается немного выше железнодорожных мостов, где Верхнее Большое ущелье соединяется с Ущельем Водоворотных порогов (рис. 389). Принимая во внимание удивительно однородное поперечное сечение Верхнего Большого ущелья, нет причин сомневаться в том, что оно было пробурено на всем протяжении практически под одним и тем же объемом воды, и что его нижняя граница отмечает положение бывшего водопада, когда воды из верхних озер были перенесены из "устья Северного залива" в нынешнее или "Устье Порт-Гурона" и озеро Эри. Как верхняя граница ущелья Водоворотных порогов, таким образом, соответствует закрытию "выхода из Северной бухты" и исчезновению Великих озер Ниписсинг, так и его нижняя граница, несомненно, соответствует открытию этого выхода и завершению предыдущей алгонкинской стадии; ибо на стадии озер Ниписсинг вода верхних озер, как мы узнали, попадала в океан через северный выход.

Мистер Фрэнк Тейлор, который много изучал проблему истории Ниагары, считает, что Среднее Большое ущелье, включающее бассейн Эдди и часть Бухты, представляет собой бурение ущелья, которое произошло на более поздней стадии озера Алгонкин после закрытия "выхода Трента" и направления вод верхних озер в бассейн Эри.

Подводя итог, можно сказать, что эпизоды истории озера и ущелья должны быть соотнесены следующим образом:—

Ледниковое озеро

Ранние озера ирокезов и алгонкинов.

Более поздние озера ирокез и Алгонкин с верхними озерами, впадающими в бассейн Эри.

Пресечение Великих озер отводом верхних вод из озера Эри.

Недавний дренаж Святого Лаврентия с тех пор, как воды верхних озер были сброшены в озеро Эри из-за заселения выхода Порт-Гурон.

Ущелье Ниагара

Бурение ущелья от Льюистонского откоса до участка Бухты над Уинтергрин Флэтс.

Бурение Средне-Великого ущелья.

Бурение узкого ущелья
Водоворотных порогов.

Бурение Верхнего Большого ущелья
до нынешнего водопада.

Меры времени ниагарских часов.—В примитивных цивилизациях время иногда измерялось промежутком, необходимым для выполнения определенной задачи, такой, например, как преодоление расстояния между двумя точками; и естественные часы Ниагары были такого типа. Но люди обладают различиями в силе и скорости, и один и тот же человек в некоторые моменты времени более энергичен, чем в другие, и поэтому работает с разной скоростью. Ниагарский водопад, заряженный сдерживаемой энергией вод всех Великих озер, может ускорить свою работу, чего он явно не в состоянии сделать в те моменты, когда большая часть этой энергии была отведена. Поэтому единицы измерения расстояния вдоль ущелья слишком ненадежны для нашего использования, за единственным исключением участка от железнодорожных мостов до места нынешнего водопада, в пределах которого поперечные сечения ущелья настолько однородны, что указывают на приближение к постоянному применению равномерной энергии. Эту энергию мы можем фактически измерить в существующей катаракте и, таким образом, зафиксировать в единице времени, которая может быть переведена в годы.

Чтобы обеспечить нормальную скорость спада этого Верхнего Большого ущелья, мы должны увеличить объем воды в канадском водопаде, который сейчас проходит над американским; и по той причине, что блоки, которые падают с карниза водопада и являются инструментами бурового инструмента, приближаются к определенному размеру, определяемому плоскостями их соединения, влияние этой добавленной энергии оценить нелегко. Однако мы можем быть уверены, что объем бурения будет несколько увеличен из-за соединения двух водопадов, и, таким образом, уверены, что средняя скорость спада в пределах Верхнего Большого ущелья несколько превышает пять футов в год, определенные Гилбертом для нынешнего Канадского водопада. Верхнее Большое ущелье имеет около двух миль в длину, и, таким образом, его начало можно датировать примерно началом христианской эры. Ущелье Водоворота было прорезано, когда лед покинул выход из Северного залива в Канаде, и до сих пор лежит широкой мантией над всей северо-восточной Канадой. Для более ранних этапов прохождения ущелий и озер временные оценки едва ли являются чем-то большим, чем предположения, и нам нет необходимости сейчас беспокоиться о них.

Часы позднеледниковой эпохи в Скандинавии.— Ледниковые часы несколько иной конструкции и большей утонченности использовались в Скандинавии для получения “геохронологии последних 12 000 лет”. Вместо того, чтобы отступать по суше и затоплять дренаж, последний континентальный ледник Скандинавии опустился ниже уровня моря, и по мере того, как он отступал, его великая подледниковая река образовала гигантский ледник, известный как Стокгольмский залив, который был ограничен дельтой и окаймлен с обеих сторон залегающими под водой моренами блочного типа. Эти рецессивные морены

находятся в среднем на расстоянии менее 1000 футов друг от друга, и считается, что каждая из них сформировалась за один сезон. Отложения дельты, окружающие эскер, состоят из тонкослойной глины, и поскольку дополнительная самая верхняя полоса обнаруживается за пределами каждой морены, считается, что эти полосы также представляют собой отложения дельты за один год. В ходе многолетних исследований барону де Гиру с помощью большого числа студентов-помощников удалось завершить подсчет морен и слоев глины и, таким образом, определить время, равное 12 000 годам с тех пор, как ледяной фронт последнего континентального ледника пролегал через южную Швецию. Плодотворность концепции и тщательность проведения этого эпохального исследования рекомендуют читателю-ученому сделать из него вывод.

Список литературы для чтения главы XXV

Г. К. Гилберт. Ниагарский водопад и его история, Нац. Geogr. Соч. Пн., т. 1, № 7, 1895, с. 203-236.

Ф. Б. Тейлор. Происхождение ущелья Водоворотных порогов на Ниагаре, Булл. Геол. соц. Ам., том 9, 1898, стр. 59-84.

А. В. Грабау. Руководство по геологии и палеонтологии Ниагарского водопада и его окрестностей, Вып. 9, № 45, 1901, стр. 1-85, стр. 1-11.

Дж. У. Спенсер. Ниагарский водопад и др. Департамент горных работ, Геология. Обзор. Бранч, Канада, 1907, стр. 490, стр. 43.

Г. К. Гилберт. Скорость спада Ниагарского водопада и т.д. Булл. 306, Геол. США. Обзор, 1907, с. 31, стр. 11.

G. de Geer. Дно четвертичных морей Западной Швеции. Документ 23, Livret Guide Cong. Géol. Междунар., 1910, стр. 57, стр. 3.

ГЛАВА XXVI

НАЗЕМНАЯ СКУЛЬПТУРА У ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ

Контрастная скульптура континентальных и горных ледников.—Обсуждая в предыдущей главе скальное покрытие, недавно вскрытое гренландским ледником, мы узнали, что эта поверхность была понижена в результате процессов выщипывания и истирания, совокупный эффект которых всегда заключается в уменьшении неровностей поверхности, смягчении ее очертаний, а из резко выступающих массивов образуются округлые выступы горных пород — *рош-мутонне*.

Хотя одни и те же процессы протекают почти одинаково под горными ледниками, хотя здесь они протекают на всех участках дна, они, по крайней мере на ранних стадиях, подчинены третьему процессу, более важному, чем два действующих вместе. Скульптура, выполненная горными ледниками, вместо того, чтобы уменьшить неровности поверхности и смягчить очертания, усиливает акцент рельефа и создает самую резко изрезанную топографию, которая только известна. Почти во всех местах, куда альпинисты прибегают для сложного

скалолазания, можно увидеть горные ледники или безошибочно прочесть свидетельства их прежнего присутствия.

Распределение снега, выпадающего в горах, по ветру.— До недавнего времени исследователи оледенения мало интересовались работой ветра по поднятию и перераспределению снега после его выпадения. Мы уже видели, что для континентальных ледников ветер, по-видимому, является главным переносчиком, если не считать краевых участков, где течение ледников приобретает большое значение. В случае с горными ледниками мы также должны обнаружить, что на более ранних стадиях ветер имеет первостепенное значение в качестве перераспределяющего агента. На более высоких уровнях снег сметается с земли всеми сильными ветрами и не находит места для отдыха, пока не окажется занесенным вихрем в какой-нибудь неровности поверхности; и если унаследованная поверхность относительно гладкая, это будет в большинстве случаев обнаружено с подветренной стороны горного гребня.

В обычных случаях, по крайней мере, унаследованными неровностями более высоких зон горной возвышенности являются пологие впадины, которые развиваются в верховьях ручьев. Таким образом, они становятся участками снежных заносов, которые год от года увеличиваются в размерах, хотя сначала они тают в конце лета.



Рис. 390. — Снежный сугроб, углубляющий свое ложе путем нивации и образующий дельту (слева). Гора Квадрант, Йеллоустонский национальный парк.

Ниши, которые образуются на участках снежных заносов.—Везде, где образуется сугроб, запускается процесс, результатом которого является выемка и опускание грунта под ним, процесс, который был назван *нивацией*. Дрейф, показанный на [рис. 390](#), был сфотографирован в конце лета на высоте около 9000 футов в Йеллоустонском национальном парке. Очень пологая поверхность, окружающая дрейф, покрыта травой, но в зоне шириной в несколько футов на границах дрейфа трава не растет, а на ее месте находится мелкая коричневая почва, которая быстро становится добычей движущейся воды, образующейся в результате таяния дрейфа. Это объясняется тем, что вода проникает в расщелины скалы и разрушается в результате ночного замерзания. Дальше от дрейфа грунт сухой, и подобные действия невозможны. С каждой последующей весной увеличивающийся при таянии сугроб уносит весь мелко измельченный скальный материал вниз по склонам под снегом, чтобы всплыть на самом нижнем краю и там отложиться в виде дельты. В результате этого процесса нивации более высокие части участка дрейфа опускаются по мере осаднения на нижние.

Таким образом, совокупный эффект заключается в создании *ниши* или слегка выгравированного амфитеатра на склоне горы (рис. 391).

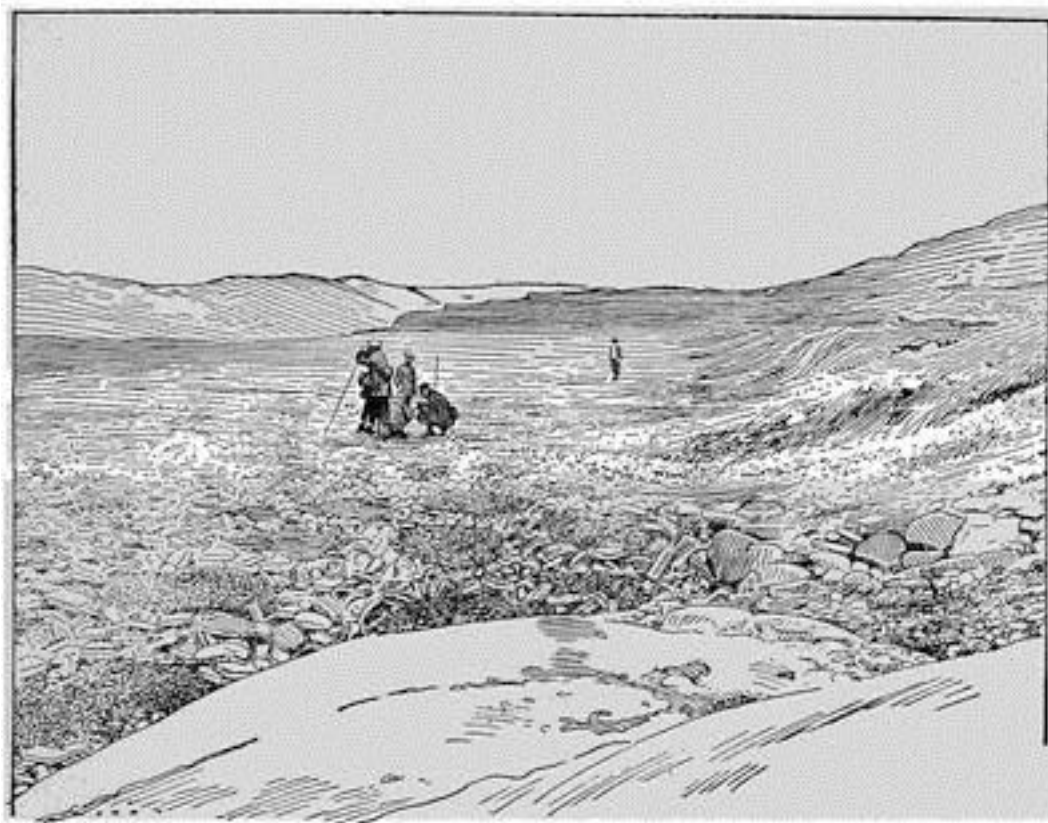


Рис. 391. Амфитеатр, образовавшийся на месте дрейфа в северной Лапландии (по фотографии Г. фон Зана).

Увеличившийся снежный сугроб движется вниз по долине —рождение ледника.—При еще более низких температурах воздуха сугробы увеличиваются с каждым последующим годом, пока не сохраняются на протяжении всего летнего сезона. Начиная с этого этапа, с каждого последующего сезона остается дополнительный слой снега. Таяние больше не растрачивается впустую, скоро наступит время, когда верхние слои снега под действием своего веса превратят нижние в лед, и масса начнет сползать вниз по склону по руслу унаследованной долины. Увеличенный сугроб, питающий этот ледяной поток, называется *неве* или *фирн*.

Напротив наклонного утеса, который был сформирован углублением у верхнего края сугроба, тот снег, который недостаточно глубок, чтобы начать движение в сторону долины, отделяется от движущейся части, открывая при этом расщелину параллельно стене. Эта трещина в снегу носит немецкое название *Bergschrund* или *Randspalte*, и, возможно, ее можно назвать краевой трещиной (рис. 392).



Рис. 392. Краевая трещина, или Бергшрунд, на самом высоком краю ледника (в честь Гилберта).

Раскопки ледникового амфитеатра или цирка.—Было обнаружено, что краевая трещина играет важнейшую роль в формировании гор ледниками, поскольку огромный амфитеатр, который повсюду является резервуаром для питания горных ледников, является не унаследованной особенностью, а делом рук самого льда. Это было открытие мистера У. Д. Джонсона, американского топографа и геолога, который, чтобы решить проблему амфитеатра, позволил спустить себя в такую расщелину на леднике Маунт Лайелл в Сьерра-Неваде в Калифорнии.

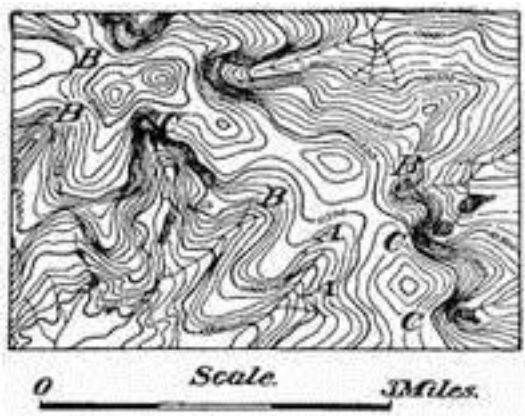


Рис. 393.— Ниши и цирки в том же районе в горах Бигхорн в Вайоминге. А, А, неизменные долины; В, В, ниши на местах дрейфа; С, С, цирки на небольших участках ледников (по карте Ф. Э. Мэтса, США).

Спустившись на расстояние ста пятидесяти футов, он достиг дна трещины и под морозящим дождем талой воды стоял на полу, сложенном из каменных массивов, частично оторвавшихся от стены, которая тянулась примерно на двадцать футов вверх по обрывистой стороне расщелины. Было очевидно, что теплый дневной воздух вызвал образование талой

воды, которая постоянно капала и заполняла каждую трещину на поверхности скалы. Когда солнце опускается за вершины, внезапный холод, столь характерный для конца дня в высокогорьях, приводит к замерзанию воды и, таким образом, разрушает скалу вдоль ее плоскостей сочленения. Широкие и тонкие пластины льда, ослабленные таянием у стен, могли быть извлечены из расщелин скалы как немые свидетели мощных напряжений, вызванных этим самым энергичным процессом выветривания.

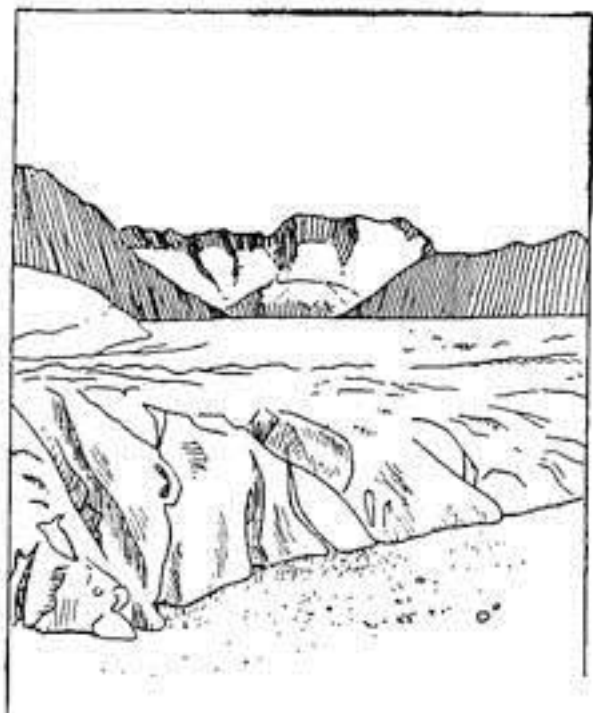


Рис. 394. Второстепенные малые цирки в амфитеатре на западном склоне Ваннехорна над Большим ледником Алеч в Швейцарии.

Короче говоря, скальная стена над ледником, которая на начальной стадии была верхней стенкой ниши, выдолбленной под снежным сугробом, сначала становится крутой, а затем постоянно углубляется в результате интенсивного разрушения морозом, которое происходит у основания краевой трещины. Тот же процесс не протекает так быстро над поверхностью неве по той причине, что *необходимое увлажнение поверхности породы там, как правило, не происходит в результате ежедневного летнего оттаивания*. Только на дне краевой расщелины это условие реализовано в полной мере. Интенсивное промерзание *там, где скала ежедневно увлажняется талой водой*, таким образом, является фундаментальной причиной как выдалбливания раннего участка дрейфа с образованием ниши, так и последующего расширения этой ниши в амфитеатр или цирк, когда дрейф превратился в дно ледника. Поскольку трещина образуется там, где снег и лед отходят от скалы к середине впадины, стена цирка на ранней стадии имеет очертания полукруга. В горах Бигхорн в Вайоминге все ступени, от неизменных вершин долины до полностью сформированного цирка, можно увидеть рядом друг с другом (рис. 393). Следует отметить, что везде, где образовался ледник, на что указывает цирк, есть серия озер, образовавшихся в долине ниже (см. стр. 412).

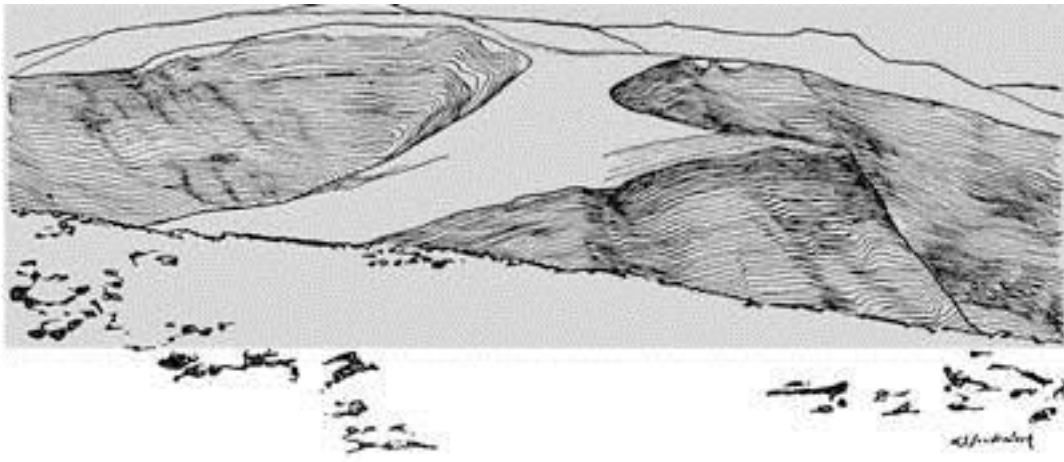


Рис. 395. Эффект “разрезания печени” ледниковой скульптуры в горах Уинта в Вайоминге (по Этвуду).

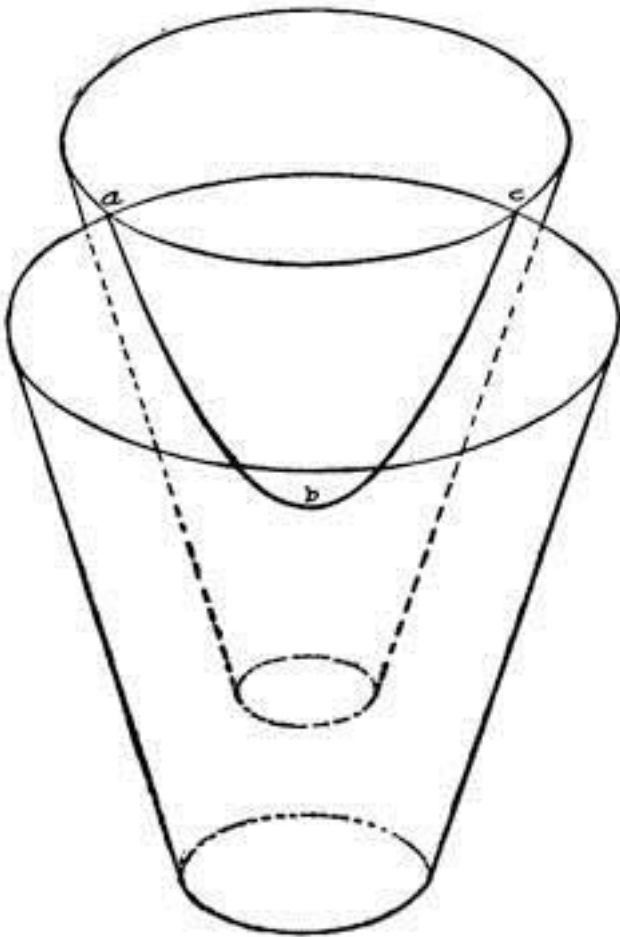


Рис. 396. Два пересекающихся перевернутых конуса, представляющих ледниковые цирки разных размеров, чтобы показать, что их пересечение представляет собой дугу гиперболы, кривую, к которой приближается седловина.

История жизни цирка.—На самой ранней стадии цирк более или менее равномерно покрыт снегом со всех сторон, и поэтому он увеличивается за счет спада таким образом, чтобы сохранить свои ранние полукруглые очертания. На более поздней стадии большая часть снега достигает цирка по бокам, так что его дальнейшее увеличение приводит к расширению и некоторому сглаживанию той части его очертаний, которая представляет

начало долины (рис. 389, стр. 364). По мере того, как территория возвышенности все больше заполняется цирками, их питание становится еще более неравномерным, а круговой контур сменяется зубчатой каймой, поскольку амфитеатр дифференцируется на подчиненные меньшие цирки, каждый из которых соответствует гребешку контура (рис. 398 и рис. 394).

Рифленные и изрезанные возвышенности.— Частичное облагораживание горной возвышенности цирками создает тип рельефа, совершенно непохожий на тот, который создается в результате любого другого геологического процесса. Неровно соединенные остатки унаследованного возвышения ни на что так не похожи, как на пласт теста, из которого вырезали печенье (рис. 395). Поверхность в целом, изрезанная бороздами ниже цирков, может быть описана как *рифленая возвышенность* (фото 19а). Дальнейшее продолжение процесса удаляет все следы более раннего нагорья, поскольку цирки пересекаются с противоположных сторон и, таким образом, образуют частокол острых скальных вершин, которые поднимаются по отвесным стенам с террасного пола. Этот конечный продукт цирковой скульптуры ледников называется *рельефным возвышением* (фото 18 А и 19 В).

Табличка 18.



А. Зубчатая возвышенность Альп, видимая с вершины горы Блан.

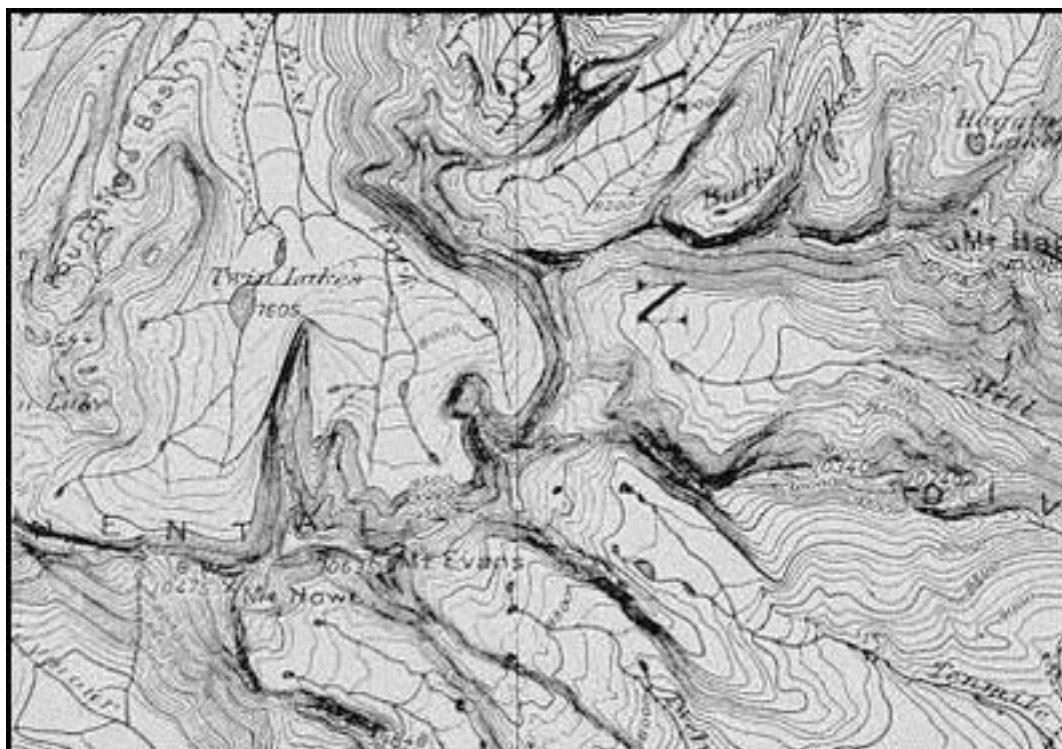


Б. Модель ледника Маласпина и зубчатого возвышения над ним (по модели Л. Мартина).

Фото 19.



А. Контурная карта рифленого нагорья, горы Бигхорн, Вайоминг (США). Опрос.



Б. Контурная карта рельефной возвышенности, четырехугольник Филипсбург, Монтана (США). Опрос).

Черты, высеченные над ледником.—Хребты вершин, образованные горными ледниками, стали известны под различными названиями иностранного происхождения, такими как *arête*, *grat*, горы эгюй, “ряды жандармов” и т.д. Возможно, их лучше всего обозначить как *ребневые гряды*, и в соответствии с их положением они подразделяются на главные и боковые ребневые гряды, как будет ясно из второй карты [рисунка 19](#).

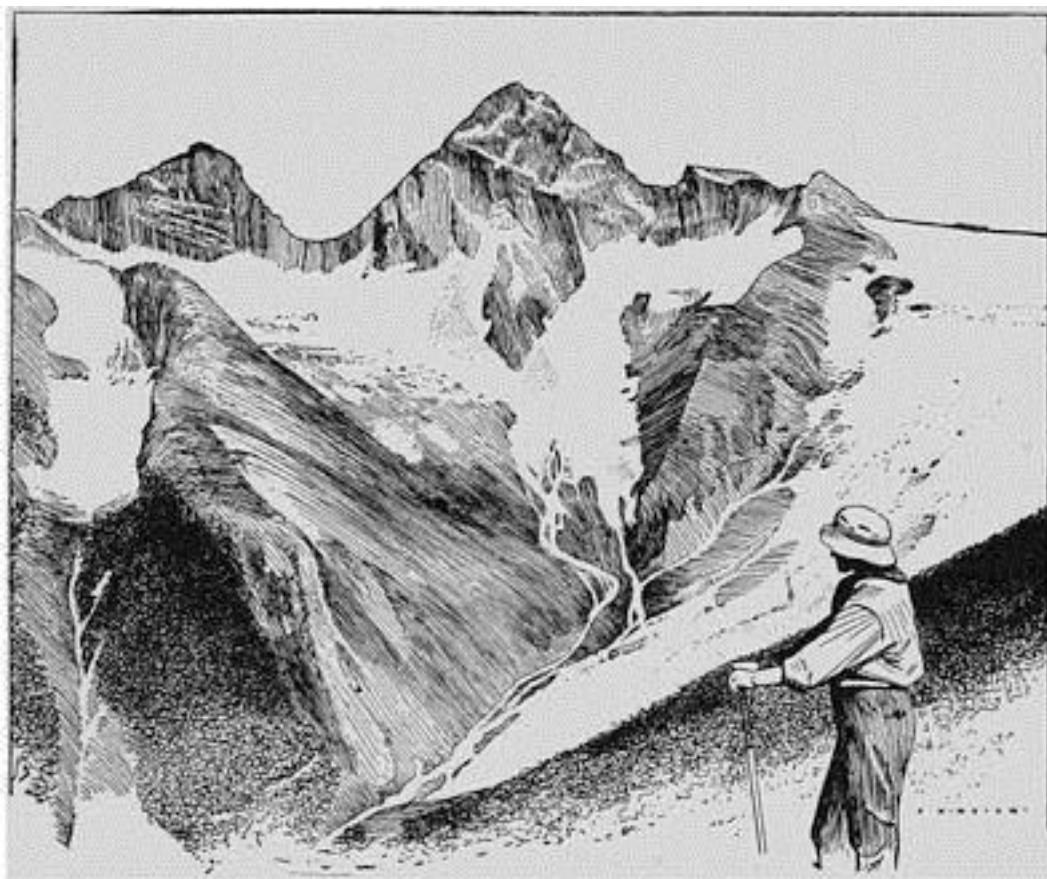


Рис. 397. Седловина в форме гиперболы между горой Сэр Дональд и пиком Його в Селкирксе (по табличке компании Keystone Plate Co.).

По мере постепенного вторжения цирков на возвышенность, на которую они совершили свою атаку, площадь, с которой ветры могут собирать снег, неуклонно уменьшается, и, следовательно, соответственно замедляется спад цирка. Цирки, которые приближаются друг к другу с противоположных сторон хребта до тех пор, пока не станут касательными в одной точке, могут, однако, по-прежнему получать питание по бокам и, таким образом, продолжать вырубать промежуточную скальную стену, образуя проход или *седловину*. Теоретическая кривая, возникающая в результате этого пересечения, известна как гипербола, иллюстрация которой приведена на [рис. 396](#). Приближение к этой форме наглядно демонстрируют большинство горных перевалов в покрытых льдом горных районах, и особенно хорошая иллюстрация дана в окрестностях Глейшера на линии Канадско-Тихоокеанской железной дороги ([рис. 397](#)).

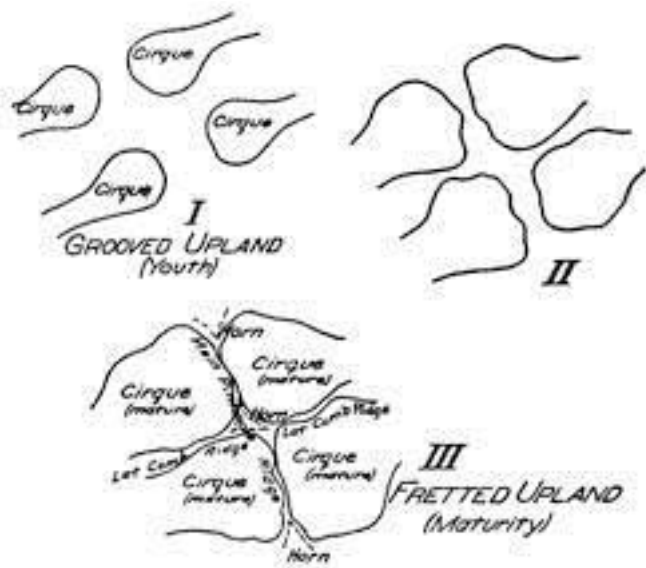


Рис. 398.—Диаграммы, иллюстрирующие постепенное расширение возвышенности цирками с образованием гребневых гребней, кол и рогов. I, ранняя стадия, юность; II, промежуточная стадия; III, поздняя стадия, зрелость.

По обе стороны седловины рельефно виден массив суши, поднимающийся от более или менее треугольного основания (рис. 398, III) в виде острого рога или зуба. Иллюстрацией такого рога может служить Маттерхорн в Швейцарских Альпах или гора Сэра Дональда в Селкирксе, хотя менее примечательные примеры можно найти в каждом горном районе, покрытом зрелым оледенением.

Особенности, сформировавшиеся под ледником.— Те элементы, которые высечены над ледником — гребневой гребень, седловина и горн - все они сформированы в результате интенсивного выветривания стены цирка. Формирование на более низких уровнях осуществляется с помощью процессов, действующих под поверхностью ледника, где выветривание исключено и где выщипывание и истирание работают вместе, отрывая и шлифуя поверхность породы. Благодаря их совместному действию долина углубляется и расширяется как непосредственно до высоты поверхности ледника, так и косвенно за счет выемки грунта вплоть до скальной породы. Таким образом, долина превращается в долину с широким и плоским ложем и обрывистыми боковыми стенами — U-образный участок, проиллюстрированный долинами Швейцарских Альп и фактически во всех районах, которые были сильно покрыты горными ледниками (рис. 399).

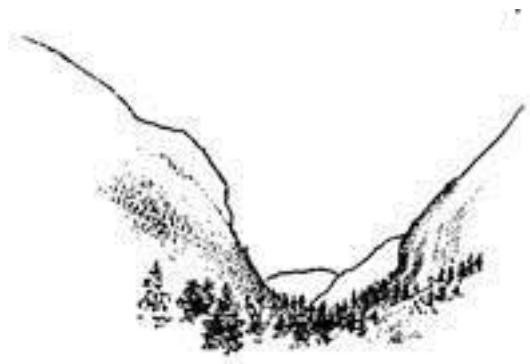


Рис. 399. U—образная долина Керн в горах Сьерра-Невада в Калифорнии (в честь У. Б. Скотта).

На той высоте в долине, на которой она была занята ледником, ложе округлое, сглаженное и отполированное и отмечено характерными ледниковыми выемками или бороздками, которые указывают вниз по долине. С другой стороны, выше уровня верхней поверхности ледника эрозия осуществляется путем подкопа или иссушения, процесса, который всегда оставляет крутые склоны с неровной поверхностью, состоящей из стыковых плоскостей, на которых упавшие блоки отделились от скалы. Таким образом, обнаруживается четкая линия, отделяющая плавно закругленную поверхность скалы внизу от неровной и обрывистой вверх (рис. 400). Поскольку эта граница обычно отделяет вершину от недоступных склонов выше, снег склонен оседать на этом уровне и делать его поразительно заметным.

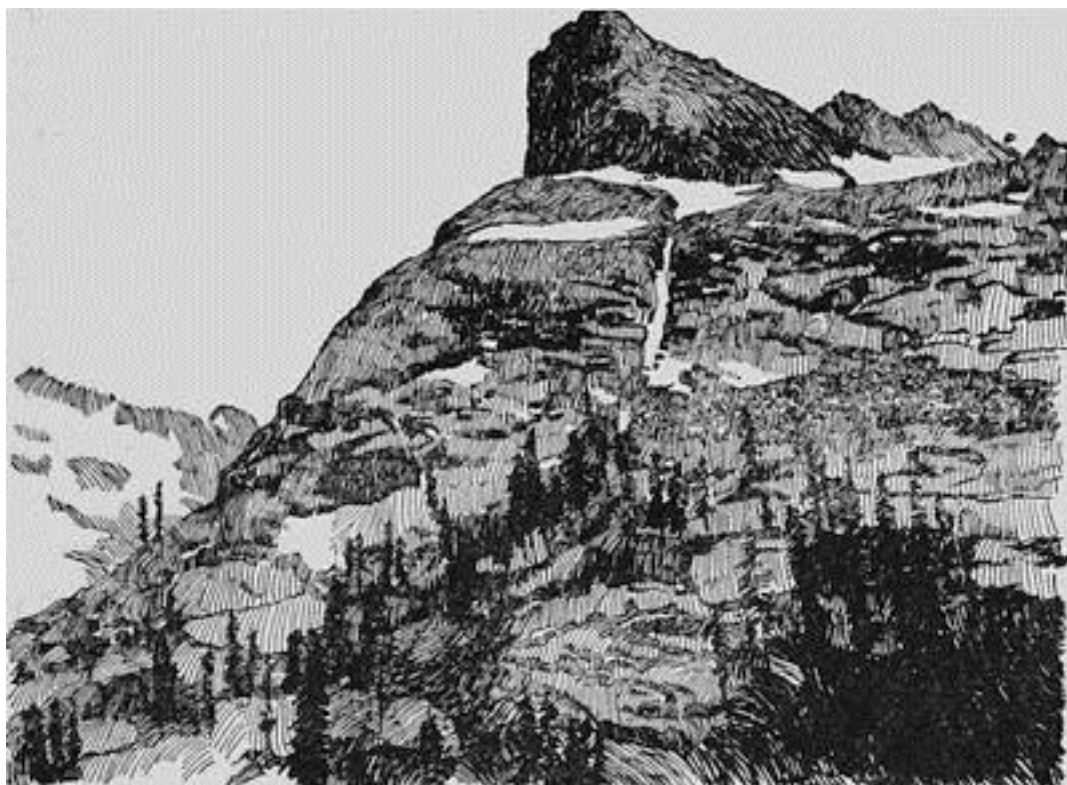


Рис. 400. Стена ледниковой долины в Сьерра—Неваде, Калифорния, с четкой линией, отделяющей истертую поверхность скалы от подорванной (по фотографии Фэрбенкса).

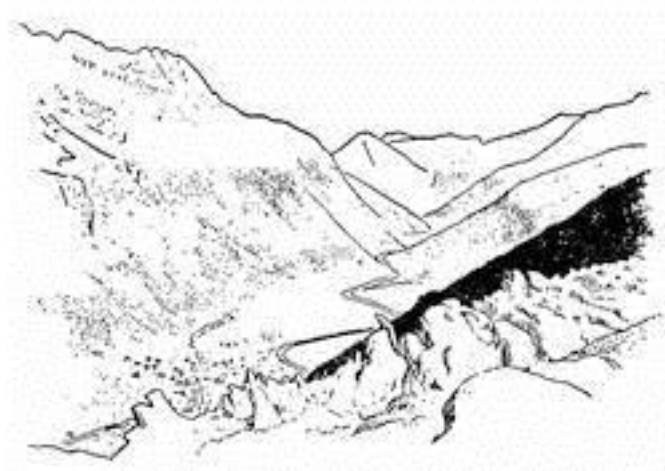


Рис. 401.—Вид на долину Шамони со склонов ледника Боссон. Хорошо виден альб на противоположной стороне.

Если поднятие суши происходит в то время, когда ледники занимают горные долины, этим ледяным потокам придается повышенная способность к углублению долины, и в результате мы обнаруживаем глубокую центральную долину U-образного сечения, вырытую в относительно широком желобе, видимом над обочиной по обе стороны от более поздней борозды. За исключением только своих характерных изгибов, такая долина очень похожа на зрелую долину ручья, которая была омоложена (см. [стр. 173](#)). Остатки более ранней долины, прорезанной ледником, представляют собой, как уже говорилось, плавно изгибающиеся высокие террасы, столь распространенные в Швейцарии, где они известны как *альбы* или высокогорные луга. Особенно хорошо эти альбы видны на склонах долины Шамони ([рис. 401](#)), долины Лаутербруннен или, фактически, почти любой из более крупных альпийских долин.

Каскадная лестница в вырезанных ледниками долинах. Если теперь, вместо того, чтобы обращать наше внимание на поперечный разрез, мы проследим за ходом долины, которая была занята ледником, мы обнаружим, что она спускается серией ступеней или террас, имеющих множество направленных назад ступеней ([фото 19](#)), тогда как нормальная и хорошо развитая речная долина имеет уклоны только вперед. Из-за этих обратных уклонов воды ручья затоплены, и поэтому озера расположены вдоль долины цепочками, как крупные бусины в четках, и это характерные *озера скального бассейна*, которые иногда называют “Озерами Патерностера” (см. [стр. 412](#) и [рис. 402](#)).

Табличка 20.



Карта поверхности, смоделированной горными ледниками в Сьерра-Неваде в Калифорнии (по И. К. Расселу).

Когда обратные подъемы на дне долины становятся особенно крутыми, скальная ступенька превращается в *скальную полосу*, или *Riegel*, примеры которых есть почти в каждой альпийской долине. Во время прогулки от Гримзеля до Майрингена вы проходите мимо множества таких баров. Неся во взвешенном состоянии острый каменистый песок из отложений ледника вдоль своего русла, ручей, который следует за ледником, когда тот покидает свою долину, прокладывает себе путь через эти препятствия с поразительной скоростью, создавая таким образом узкие ущелья, такими хорошо известными примерами которых являются ущелья Аар близ Мейрингена и Горнер близ Церматта ([рис. 403](#)).

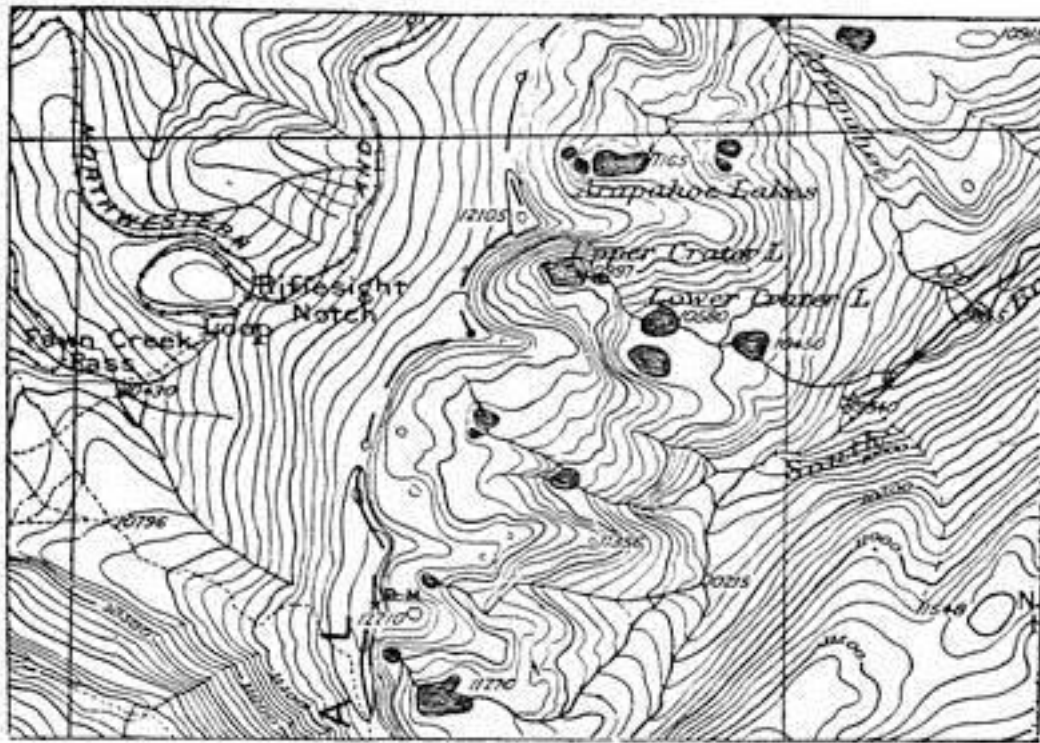


Рис. 402. — Карта области вблизи континентального водораздела в Колорадо, показывающая безледниковую поверхность к западу от водораздела, где западные ветры очистили землю от снега, и покрытую ледниками местность к востоку. Обратите внимание на правильные формы молодого цирка, ледниковой лестницы и озер рок-Бейсин (США).



Рис. 403. Ущелье реки Альбула близ Беркума в Энгадине, прорезанное рекой в скальном выступе, сменившем более ранний ледник.



Рис. 404.— Идеалистический набросок, показывающий как покрытые, так и не покрытые льдом боковые долины, впадающие в покрытую льдом главную долину (после Дэвиса).

Для рек характерно, что притоки сокращают свои долины быстрее, чем основной поток на соседнем участке, хотя они не могут сокращаться ниже своих истоков — боковые потоки впадают *соответственно*. Это легко объясняется, потому что уклоны притоков более крутые, и, как мы хорошо знаем, коррозия долины усиливается с самой удивительной скоростью с каждым повышением ее уклона. Никакой подобный закон не контролирует

процессы выщипывания и истирания, с помощью которых ледник опускает свое дно, поскольку эффективность этих процессов, по-видимому, зависит от глубины залегания льда и наличия режущих инструментов в такой же степени, как и от уклона слоя. Чтобы применить простую иллюстрацию, углубление в каменных плитах на наших дорожках больше зависит от количества людей, которые проходят по ним, а также от их размера и количества торчащих гвоздей в каблуках ботинок, чем от уклона, на котором они установлены. Во всяком случае, мы обнаруживаем, что главные долины ледника прорезаны глубже, чем боковые, так что последние становятся *висячими долинами*— они входят в главную долину не по ее дну, а на некотором расстоянии над ним (рис. 404).

U-образные висячие долины, как и главная долина, слишком велики для ручьев, которые сейчас заполняют их, и эти крошечные боковые ручейки низвергаются с отвесной стены главной долины в виде лентообразных водопадов, таких тонких, что ветер отводит их в сторону и рассеивает воду в виде брызг “фаты невесты”. Такие водопады встречаются сотнями в каждом покрытом льдом горном районе, придавая ему одно из величайших живописных очарования.

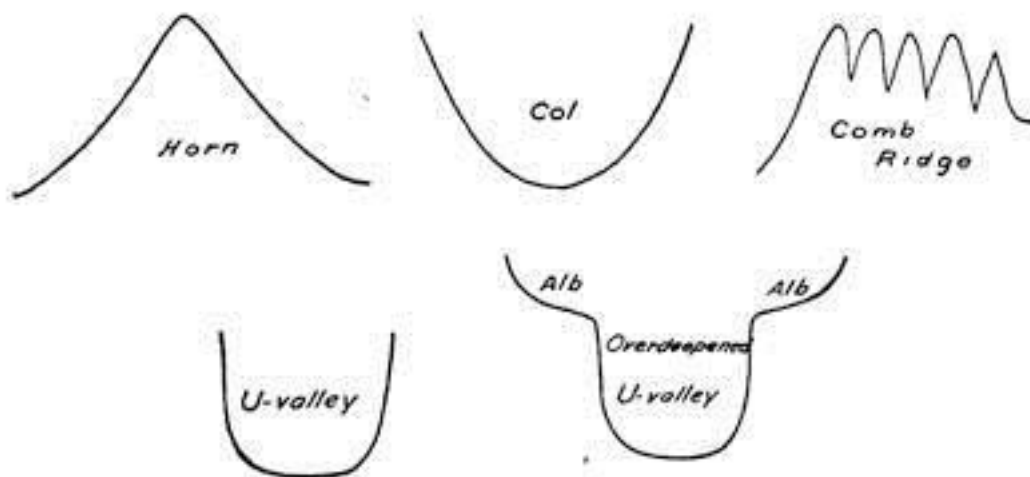


Рис. 405. Профили персонажей в ландшафтах, созданных горными ледниками.



Рис. 406. Плоский куполообразный край норвежской ледяной шапки с выступающими скальными выступами и моренами на переднем плане.

Профили персонажей, созданные скульптурами горных ледников.— Линии, которые повторяются в ландшафтах, вырезанных горными ледниками, легко распознать (рис. 405). Самые высокие линии горизонта - это очертания рогов, разделенных кольцами. Частоколы, похожие на минареты, или “шеренги жандармов”, часто тянутся на большие расстояния в виде характерных гребенчатых гребней. Опустившись ниже и не имея более светлого фона неба, мы с меньшей отчетливостью различаем U-образную долину, либо с альбами, либо без них, чтобы показать, что процесс создания скульптуры был прерван подъемом.

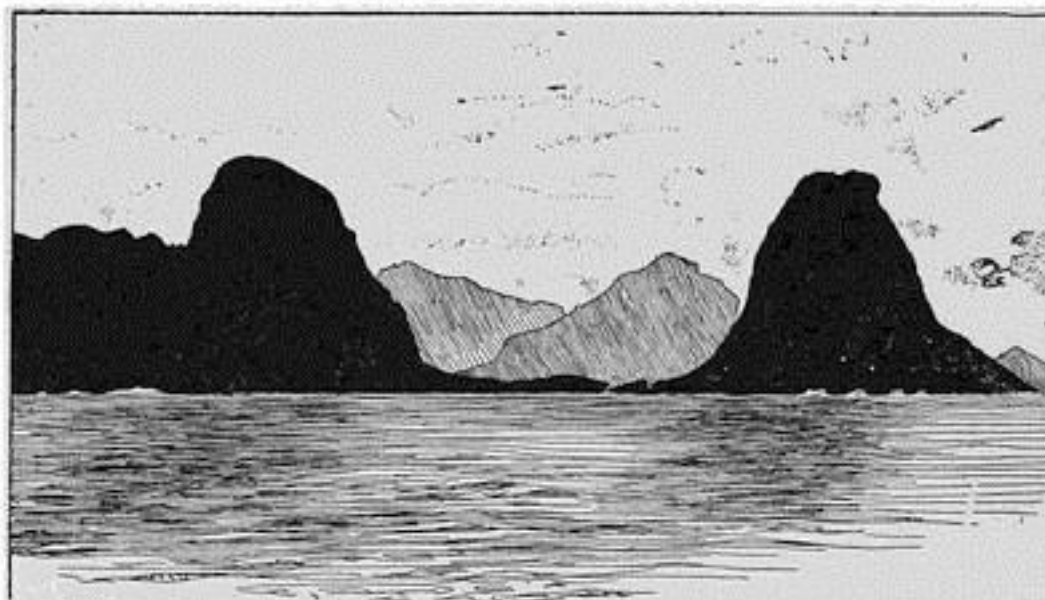
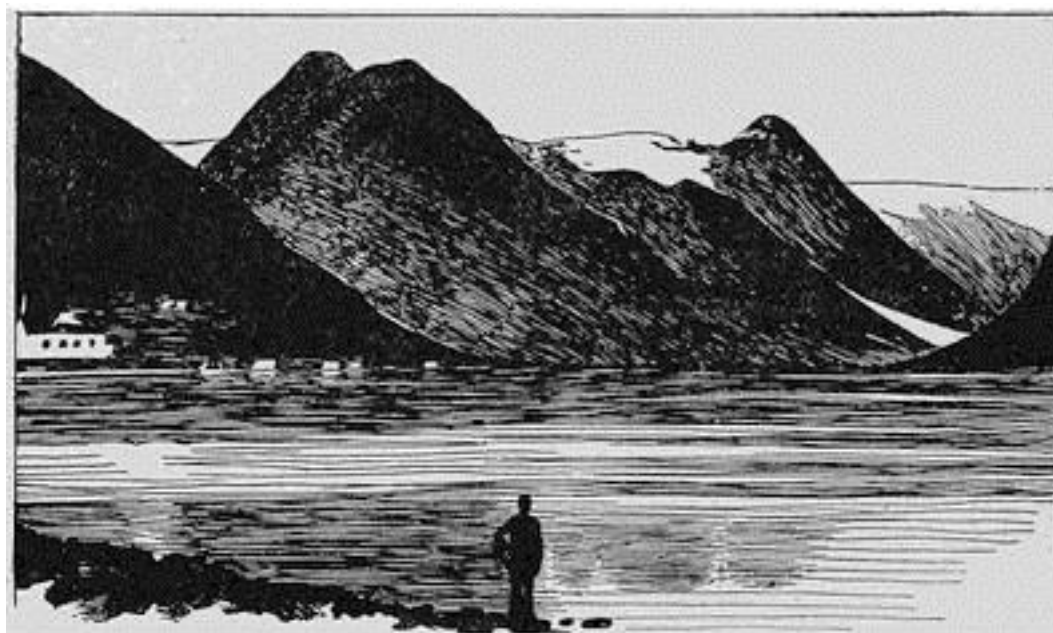


Рис. 407. — Два вида, иллюстрирующие последовательные этапы формирования тиндов, или гор-“ульев”.

Скульптура выполнена из ледяных шапок.— В случае ледяных шапок единственная обнаженная порода находится по соседству с краем — выступающими островами, известными как нунатаки. Для существования ледяной шапки важно, чтобы скальное

основание имело относительно небольшие неровности по сравнению с размерами самой шапки. За исключением очень высоких широт, это основание должно быть несколько приподнято, поскольку, подобно горным ледникам, ледяные шапки питаются поверхностными воздушными потоками, а их снега откладываются выше снеговой линии.

Норвежская гора тинд, или улей.—В умеренном или тропическом климате снежный покров залегает так высоко, что только более высокие горы способны поддерживать ледники. Из этого следует, что образующиеся частицы текут по относительно высоким сортам с соответственно высокой скоростью перемещения и повышенной режущей способностью. В высоких широтах снег лежит ближе к уровню моря, и ледники по большей части соответственно вялые в своем движении, а также менее активные обнажающие агенты.

К этому состоянию, характерному для высокоширотных ледников, в Норвегии добавляется еще одно, заключающееся в своеобразной форме фундамента под недавними и все еще существующими ледниками. Норвежское плато пересечено сетью глубоких фьордов с крутыми стенами, а ледники сформировались в виде небольших ледяных шапок, расположенных на настоящих скальных пьедесталах, по краям которых ледяные языки спускаются по крутым склонам во фьорд. Таким образом, в результате процессов выщипывания и истирания верхушкам пьедесталов придается форма плоских куполов (рис. 406), в то время как выступы скал, которые в виде нунатаков выступают над поверхностью льда, разделяют выступающие языки льда по краю пьедестала. Эти языки, будучи гораздо более активными обнажающими агентами, из-за их крутых уклонов постоянно понижают свои пласты, превращая таким образом более ранние выступы горных пород в высокие и крутые горы с более или менее круглым основанием. Такие горы-“ульи” на окраинах фьордов являются характерными норвежскими *тиндами* (рис. 407).

Список литературы для чтения главы XXVI

И. К. Рассел. Четвертичная история долины Моно, Калифорния, 8-я энт. Rept. U. S. Geol. Обзор, 1889, стр. 329-371, стр. 27-37.

Ф. Э. Маттес. Ледниковая скульптура гор Бигхорн, Вайоминг, 21-я энт. Репт. Геол. США. Обзор, 1900, Часть ii, стр. 179-185, стр. 23.

У. Д. Джонсон. Зрелость альпийской ледниковой эрозии, журнал. Геология., том 12, 1904, стр. 569-578.

Г. К. Гилберт. Систематическая асимметрия линий гребня в Высоких сьеррах Калифорнии, там же., стр. 579-588.

Emm. de Martonne. Sur la Formation des Cirques, Ann. de Géogr., vol. 10, 1901, pp. 10-16.

У. М. Дэвис. Ледниковая эрозия в Северном Уэльсе, кварт. Jour. Геол. соц. Лондон, т. 65, 1909, стр. 281-350, стр. 14.

Ed. Brückner. Die Glazialen Züge im Antlitz der Alpen, Naturw. Wochenschr., N. F., vol. 8, 1909.

Уильям Х. Хоббс. Характеристики существующих ледников, стр. 1-96.

ГЛАВА XXVII

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ ТИПЫ ЛЕДНИКОВ УБЫВАЮЩЕГО ОЛЕДЕНЕНИЯ

Переход от ледяной шапки к горному леднику. Изучение существующих ледников неизбежно приводит к выводу, что, хотя они подвержены кратковременному наступлению и отступлению, все же, в широком смысле, ледники в настоящее время постепенно истощаются, окруженные обширными территориями, на которых находятся свидетельства их недавнего заселения. Таким образом, мы живем в период отступающего гемицикла оледенения.

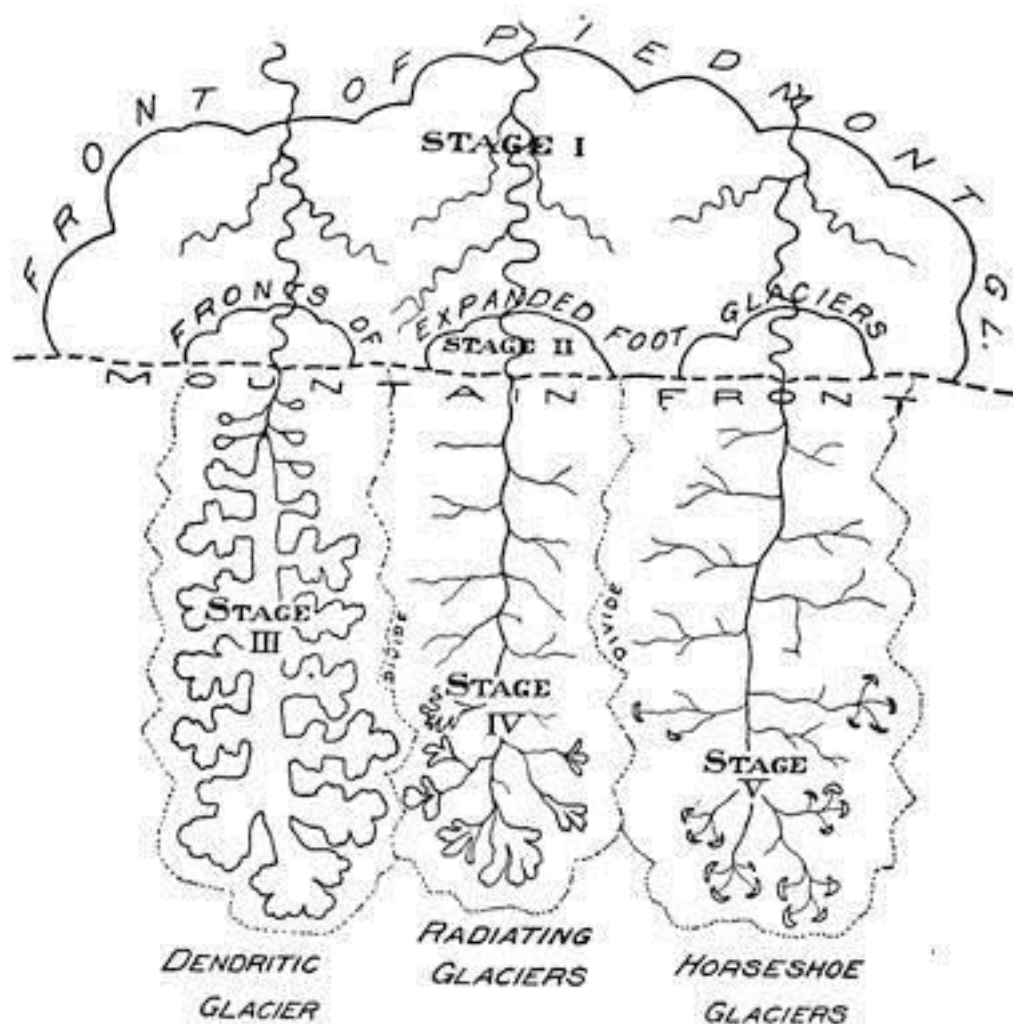


Рис. 408.—Принципиальная схема, показывающая взаимосвязь типов ледников, последовательно формировавшихся в течение отступающего гемицикла оледенения.

Многие горные районы, которые сейчас поддерживают только небольшие ледники или их вообще нет, когда-то были почти или полностью погружены под снег и лед. Если когда-то они были покрыты ледяным панцирем или шапкой, то наш нынешний интерес к ним начинается на той стадии отступающего полуцикла, когда поверхность горных пород вновь появляется над поверхностью снежно-ледяной массы. На этом этапе начинается интенсивная

морозная обработка, характерный высокий уровень выветривания, и цирки образуются над рубцами тех более ранних амфитеатров, которые образовались в наступающем гемицикле.

Ледник пьемонт.—На этой ранней стадии перехода от ледяной шапки к горному леднику лед вытекает наружу к горному фронту в виде нечетких потоков, разделенных выступающими хребтами, и по достижении горного фронта эти потоки расходятся по нему так, что сливаются в большой застойный ледяной покров, верхняя поверхность которого плавно наклоняется вперед под углом не более нескольких градусов (рис. 408, этап I). Это ледник Пьемонт, тип, встречающийся сегодня в высоких широтах Аляски и в южных Андах (рис. 409 и рис. 18 Б).



Рис. 409. — Карта ледника Маласпина на Аляске, самого известного из существующих ледников пьемонта (после Рассела).

На этом этапе цирки могут быть лишь слабо очерчены, и лед течет в обоих направлениях из расщелин скал, так что потоки пересекают хребет, а позже, после исчезновения ледников, может обнажиться проход, выровненный и отполированный на дне, с полосами, направленными в противоположных направлениях от самой высокой точки. Перевал Гримзель в Швейцарии служит прекрасной иллюстрацией такого более раннего пересечения хребта.



Рис. 410. Карта ледника Балторо в Гималаях, типичного ледника дендритного типа.

Ледник расширенного подножия. По мере того, как температура воздуха продолжает снижаться, ледниковые потоки в горах становятся менее глубокими и, следовательно, более четко очерченными, и вместо того, чтобы сливаться на горном переднем крае, они теперь выходят из гор, образуя отдельные полосы, и описываются как *ледники с расширенным подножием* (рис. 408, этап II, и рис. 292, стр. 264).



Рис. 411. Ледник Триест, висячий ледник, отделенный от Большого ледника Алеч, притоком которого он недавно был.

Дендритный ледник.— Еще позже в гемицикле питание ледников уменьшается по мере увеличения истощения в результате таяния, так что потоки ледников больше не достигают горного фронта. Ответвления продолжают спускаться в главную долину из нескольких боковых долин, подобно коротким ветвям высокого дерева, и из-за такого расположения такой ледник можно описать как *дендритный ледник* (рис. 408, этап III, и рис. 410).

Поскольку истощение в результате таяния увеличивается быстрыми темпами при спуске к более низким уровням, долины притоков ледников, “нависающие” над главной долиной на нижних участках, разделяются и могут продолжать существовать в виде серии висячих ледниковых массивов по обе стороны от главной долины ниже фронта ледника (рис. 408, этап III, и рис. 411). Из этого должно быть ясно, что любая попытка назвать каждый отдельный ледяной поток без учета их взаимосвязи должна привести к бесконечной путанице, поскольку размер ледника настолько чувствителен к температуре воздуха, что понижение или повышение среднегодовой температуры в районе всего на несколько

градусов может оказаться достаточным для слияния многих ледников в один или разделения одной ледяной массы на множество более мелких.

Когда в высоких широтах дендритный ледник спускается во фьордах ниже уровня моря, он подвергается воздействию воды таким же образом, как и выходы гренландских ледников, и тогда известен как “приливный ледник”, который, таким образом, может быть подтипом или разновидностью дендритного ледника (рис. 412).



Рис. 412. Ледник Гарриман—фьорд на Аляске, разновидность дендритного ледника с приливным течением (по карте Ганнетта).

Излучающий (альпийский) ледник.—При постепенном разрушении дендритных ледников наступает момент, когда их дендритные очертания уступают место радиальным. Внимание уже привлекалось к разделению цирка на второстепенные котловины, разделенные небольшими скальными массивами и образующие заметно зубчатую кайму (рис. 394, стр. 371). Когда фронт льда уходит из главной долины в один из этих зрелых цирков, ныне истощенный поток льда разбивается на подчиненные ледники, каждый из которых занимает один из бассейнов внутри большего цирка, и эти ледяные потоки стекаются вместе, образуя ледник, составные элементы которого расходятся подобно палочкам в веере дамы (рис. 408, этап IV, и рис. 413).



Рис. 413. Карта ледника Ротмоос, расходящегося ледника Швейцарии (после Сонклара).

Ледник подкова.— По мере того, как ледник приближается к своему окончательному исчезновению, он плотно прижимается к стене амфитеатра, в котором он так долго питался. До этого этапа фронт набухания был внешне выпуклым, что являлось прямым следствием

законов, управляющих его течением. Лишенный достаточного питания, он впервые становится выпуклым спереди и ожидает окончательного растворения, свернувшись калачиком у стены цирка (рис. 408, стадия V, и рис. 414). Практически все ледники Соединенных Штатов и южной Канады относятся к этому типу.

Приведенная выше классификация напрямую зависит от питания ледника, а следовательно, также от размера и стадии ледникового гемицикла. Чтобы определить тип любого ледника, необходимо знать очертания горной долины — ее водораздела — и очертания ледника или ледников внутри него. Вполне вероятно, что типы наступающего гемицикла оледенения были бы во многом одинаковыми, за исключением только *новорожденного* или *нивационного* ледника, который максимально отличался бы от подковообразного типа, которому он соответствует по размерам. На континенте Антарктида, где отсутствие какого-либо общего таяния льдов, даже в летний сезон и вблизи уровня моря, создает особые условия, обнаружены некоторые дополнительные типы ледников, которые, однако, нет необходимости рассматривать здесь.

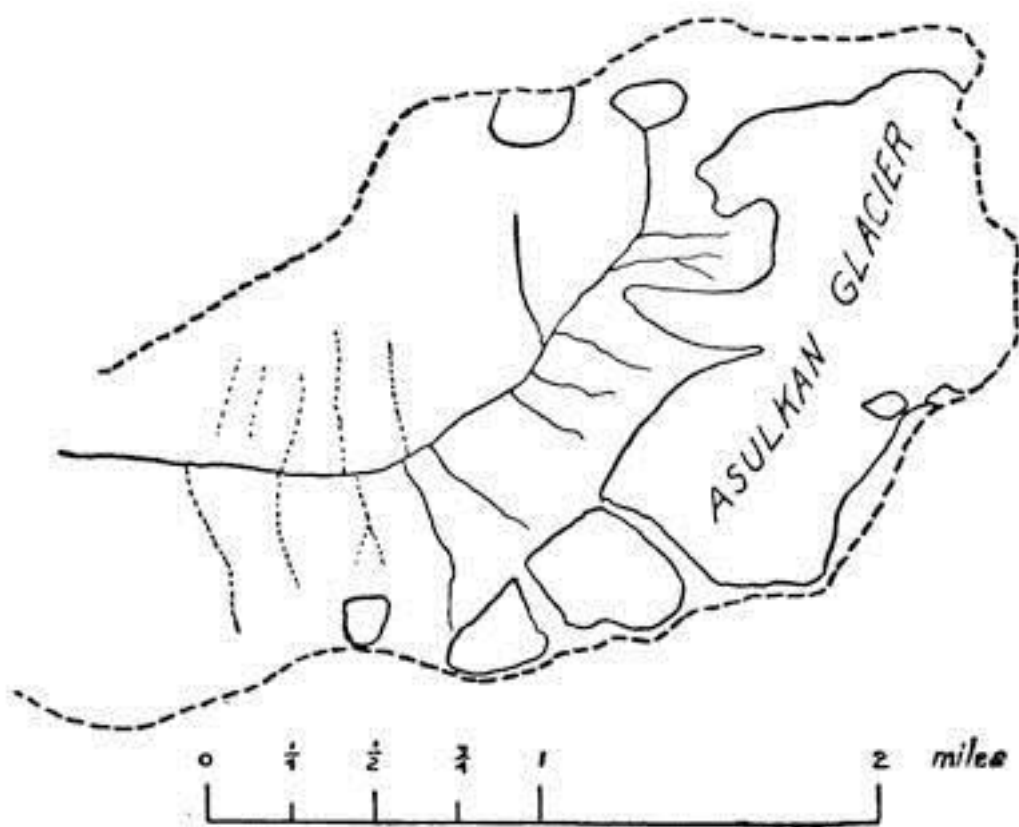


Рис. 414. Контурная карта ледника Асулкан в Селкирксе, типичного подковообразного ледника.

Ледник унаследованного бассейна.—Возможно, однако, что ледники образовались не на горах, сформированных в результате речной эрозии, и даже не в результате образования ледяной шапки, как в обычных случаях, которые мы рассмотрели. Напротив, ледники могут образовываться там, где бассейны того или иного типа были унаследованы от предыдущего периода. В таких случаях унаследованные впадины могут стать более важными, чем автоскульптура ледника. Ледники, которые развиваются в таких условиях, можно описать как *унаследованные ледники бассейнов*.

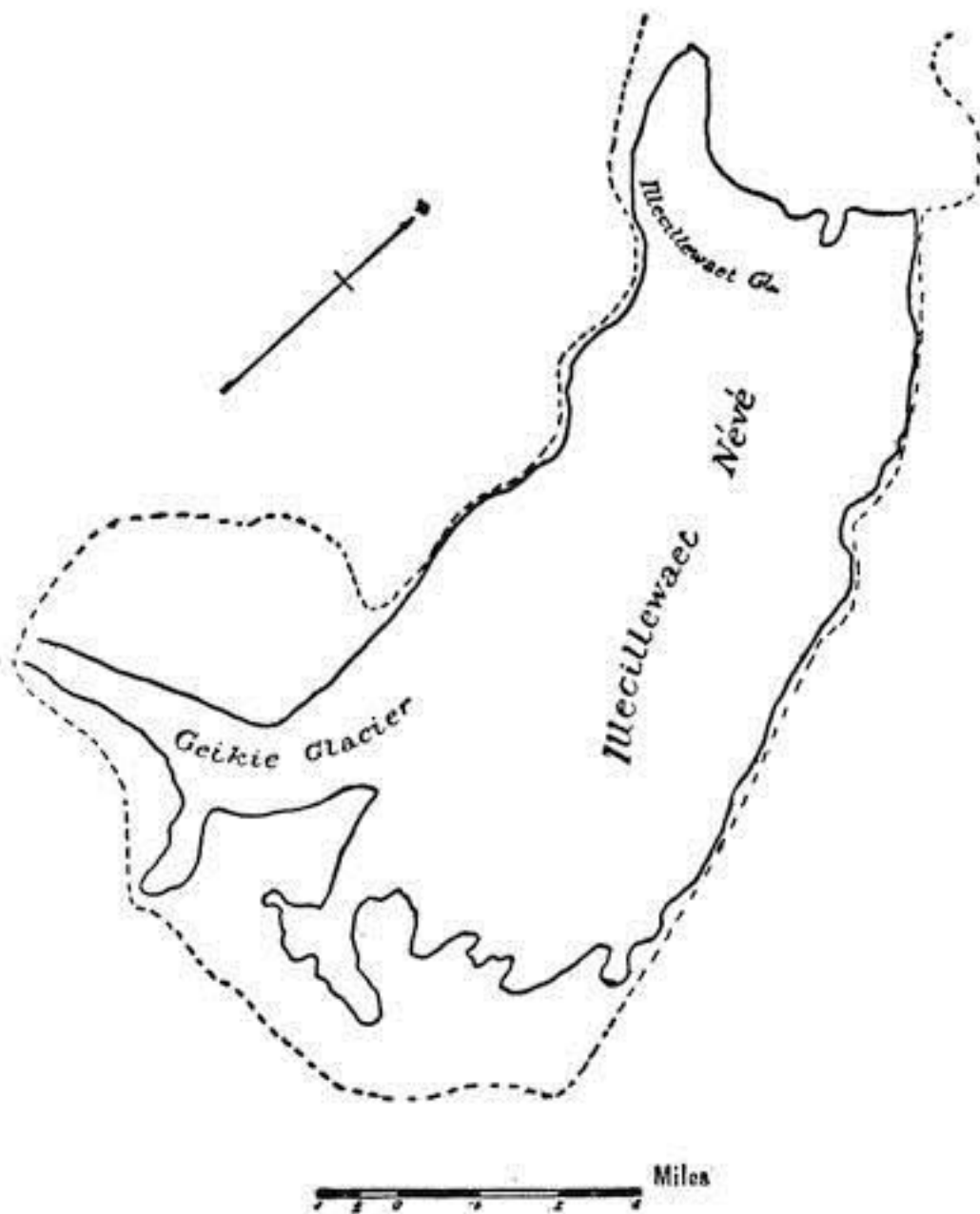


Рис. 415. Контурная карта ледника Иллесиллуэт, унаследованного ледника бассейна Селкиркс.

Частично замкнутая впадина между хребтами может служить местом сбора снега, переносимого ветром с соседних склонов, и, таким образом, может образовывать широкое неvé, приближающееся по размеру к небольшой ледяной шапке, но без образования определенных ледяных потоков, за исключением ее границы. Таким ледником является ледник Иллециллевет в Селкирксе (рис. 415).

Опять же, в низких широтах высокие и заостренные вулканические пики могут подниматься за линию снегов в верхние слои атмосферы и, таким образом, покрываться снежными шапками. Определенные цирки в этих условиях развиваются плохо, и рыхлые материалы, из которых всегда состоят такие вершины, подвергаются несколько неравномерному воздействию с разных сторон. Это относится к горе Рейнир и аналогичным вершинам Каскадного хребта в Северной Америке.

Краткое описание типов горных ледников.—В табличной форме различные типы горных ледников могут быть расположены следующим образом:—

ГОРНЫЕ ЛЕДНИКИ

Ледник Пьемонт. Горные долины полностью заняты и в значительной степени затоплены, с переливом на переднюю часть, образующим общий ледяной покров за счет слияния соседних ручьев.

Расширяющийся ледник. Полностью занятая долина и выход на передний край, достаточный для образования отдельного ледяного покрова.

Дендритный ледник. Долина не занята полностью, но с притоками ледяных потоков, расположенных по бокам основного потока, и с висячими ледниками, разделенными у подножия ледника.

Излучающийся ледник. Ледник в значительной степени образован кольцом с подчиненными ледниками, сходящимися внизу, как палочки в дамском веере.

Ледник Подкова. Небольшие остатки ледника, прилегающие к стене цирка и имеющие наклонный фронт.

Унаследованный ледник бассейна. Формы, зависящей от унаследованного бассейна, а не сформированной самим ледником.

Справочник по чтению главы XXVII

Уильям Х. Хоббс. Цикл горного оледенения, География. Jour., vol. 37, 1910, pp. 268-284.

ГЛАВА XXVIII

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕДНИКА И ОТЛОЖЕНИЯ НА ЕГО ЛОЖЕ

Течение ледника.—Нисходящий поток льда внутри горного ледника был предметом многих исследований и темой многих жарких дискуссий с тех пор, как Луис Агассис и его спутники установили линию кольев поперек ледника Аар и пронумеровали лежанки на поверхности, готовясь к повторным наблюдениям. Их первым наблюдением было то, что линия кольев, которая проходила прямо через ледник, была искажена в виде выпуклой кривой ниже по течению (рис. 416, А), что показывает, что поверхностные слои движутся быстрее по мере удаления от боковых границ. Подводя итог этим и более поздним исследованиям, можно констатировать, что ледник увеличивает скорость своего движения от своего бокового края к своей центральной линии, от своего ложа вверх к своей поверхности, и ниже невелика скорость наибольшая там, где падение наибольшее, а также там, где поперечное сечение уменьшается. Таким образом, во всех этих деталях лед ледника ведет себя подобно потоку воды. Средняя скорость течения альпийских ледников колеблется от нескольких дюймов до нескольких футов в день и больше в теплый летний сезон. Было показано, что ледник Мьюир на Аляске перемещается со скоростью около семи футов в день.

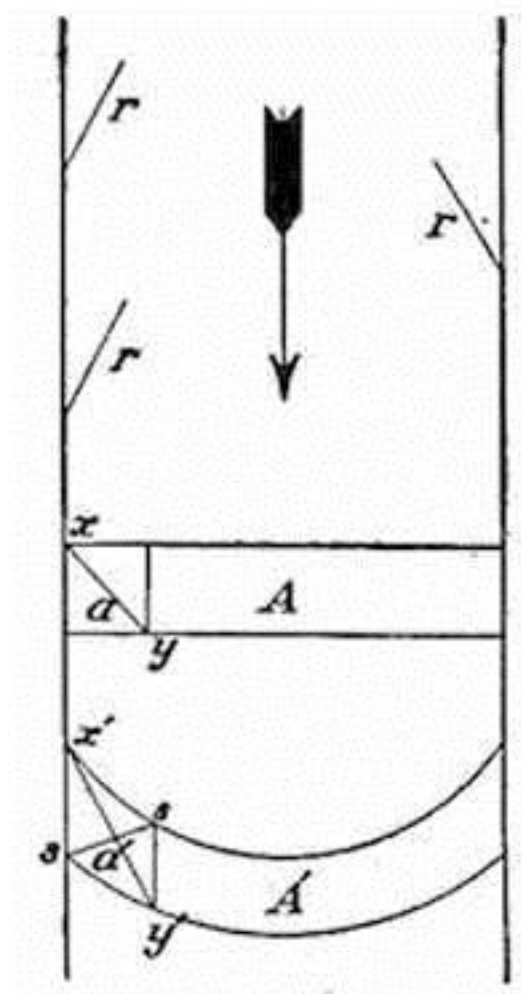


Рис. 416. Диаграмма, иллюстрирующая перемещение линий кольев, пересекающих ледник, из—за движения его поверхности, A , исходное положение линий; A' , более поздние позиции; a и a' , исходные и искаженные формы квадратного участка поверхности ледника вблизи его края; r, r' , диагональные трещины.

При движении от неве вниз к подножию ледника снег не только превращается в лед, но и подвергается процессу гранулирования с постоянным увеличением размера конкреций, пока у подножия ледника их не можно извлечь из частично растаявшего льда в виде шарнирных шариков размером с кулак или больше. Таким образом, структура ледникового льда сильно отличается от структуры озерного льда, поскольку последний образован параллельными иглами, перпендикулярными поверхности замерзания.

Трещины и сераки.— Заметные поверхностные признаки движения ледника обнаружены в открытых трещинах или *расселинах*, которые являются признаками его податливости к растягивающим нагрузкам. Трещины обычно проходят либо прямо поперек ледника, где на его ложе есть крутой спуск, либо по диагонали, заходя с края и направляясь вверх по леднику (r, r, r , на [рис. 416](#)), хотя иногда они проходят в продольном направлении вместе с ледником, когда на краю долины подо льдом образуется скальная терраса. Диагональные трещины на краю ледника возникают из-за более медленного движения, когда лед удерживается трением о стены долины, как будет ясно из [рис. 416](#). Квадрат a в результате этого движения искажился в ромб a' , так что линия xy была расширена до $x'y'$ с очевидной тенденцией к образованию трещин в направлении ss .

Поверхность каждого ледника ниже его склона отмечена ступенями или террасами, которые, как хорошо известно, перекрывают соответствующие ступени каскадной лестницы, которую можно увидеть во всех освобожденных долинах ледников ([фото 19](#)). Крутые подъемы этих ступеней обычно отмечены параллельными трещинами, пересекающими ледник. Под лучами солнца, которые падают на них больше с одной стороны, чем с другой, ломтики, на которые разделен лед, превращаются в заостренные лезвия и иглы, известные как *сераки* ([рис. 401](#), [стр. 376](#) и [рис. 417](#)).

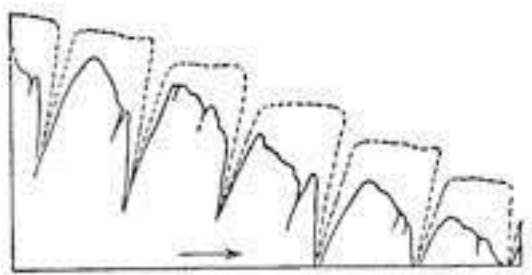


Рис. 417. Поперечные трещины у подножия ледника, преобразованные в результате несимметричного таяния в сераки.

Многочисленные трещины говорят нам о том, что лед много раз раскалывался во время своего спуска по леднику. Это было проиллюстрировано несколькими неприятными инцидентами, связанными с несчастными случаями с альпинистами, но поскольку они в какой-то мере иллюстрируют как режим, так и скорость движения швейцарских ледников, они достойны нашего рассмотрения.

Тела, выброшенные ледником де Боссон.—В 1820 году, во время одного из ранних восхождений на Монблан, трое проводников были погребены под лавиной недалеко от *Роше-Руж* в неве ледника Боссон ([рис. 418](#)). В 1858 году доктор Форбс, измеривший скорость течения ряда альпийских ледников, предсказал, что тела жертв этой аварии будут выброшены ледником после того, как пролежат в нем от тридцати пяти до сорока лет. В 1861 году, или через сорок один год после катастрофы, головы трех проводников, отделенные от их тел, с несколькими руками и обрывками одежды, появились у подножия Боссонского ледника, причем в такой сохранности, что их легко узнал бы проводник, знавший их при жизни. Поскольку этим фрагментам тел потребовался сорок один год, чтобы преодолеть во льду три тысячи метров, отделяющих место аварии от подножия ледника, скорость перемещения составляла двадцать сантиметров, или восемь дюймов, в день.



Рис. 418. Вид ледника *Боссон* на склонах Монблана, показывающий положение несчастных случаев с альпинистами и место повторного появления их тел.

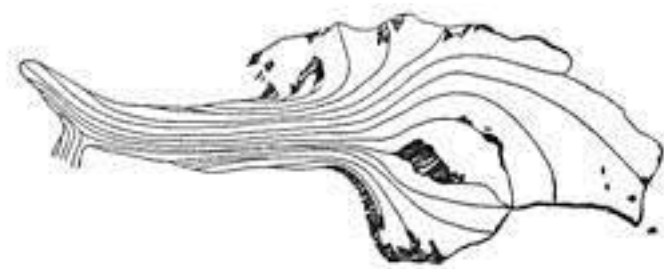


Рис. 419. Линии течения на поверхности ледника Хинтеррайсфернер в Альпах (после Гесса).

Различные отделенные части тела капитана Аркрайта, пропавшего в 1866 году на неве того же ледника, вновь появились у его подножия после погребения во льду в течение тридцати одного года. Сегодня время повторного появления частей тел людей, погибших на Монблане, довольно точно предсказано, так что друзья направляются в Шамони, чтобы дожидаться, когда ледник де Боссон отдаст своих жертв.

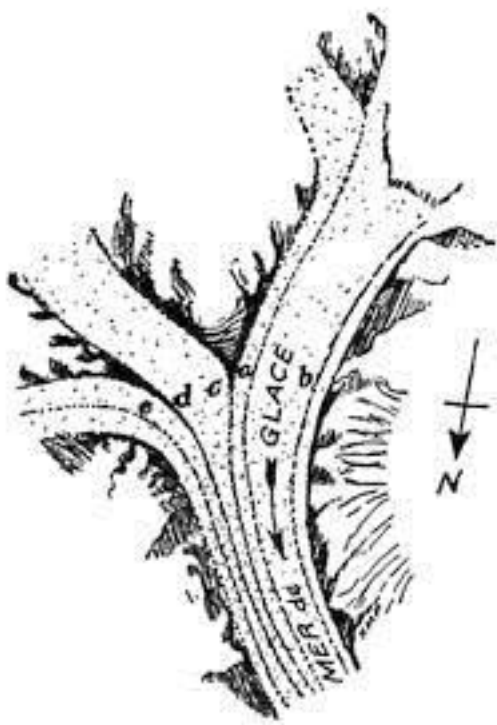


Рис. 420. Боковые и медиальные морены *Мер—де-глас* и притоков к нему ледяных ручьев.

Морены.—Рога и гребневые гребни, возвышающиеся над поверхностью ледника, постоянно подвергаются морозному выветриванию, и время от времени их отдельные фрагменты падают на ледник. Падая со значительной высоты, они достигают льда с большой скоростью и, отскакивая, иногда далеко продвигаются по его поверхности, прежде чем остановиться на время. На свежавыпавшем снегу Неве их следы иногда можно проследить взглядом на значительные расстояния, и их падение представляет постоянную угрозу для альпинистов. Ниже невеликое количество таких фрагментов остается у обрыва, и линии течения льда внутри поверхности ледника таковы, что глыбы, достигающие более удаленных точек ледника, позже собираются под обрывом сбоку (рис. 419). Гряду угловатых скальных обломков, которая, таким образом, образуется на склоне ледника, называют *боковой мореной* (см. рис. 411, стр. 385 и рис. 420).

На стыке двух ледниковых потоков боковые морены соединяются и выходят на ледяную поверхность образовавшегося ледника в виде *медиальной морены*. Таким образом, исходя из количества срединных морен на поверхности ледника, можно сказать, что важных притоковых ледников на один больше (рис. 420).

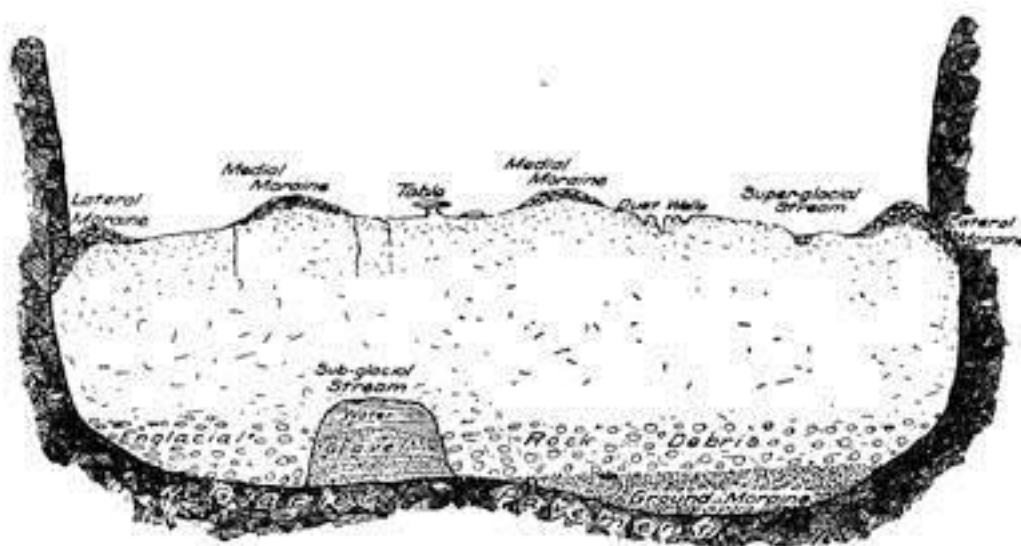


Рис. 421. Идеальное поперечное сечение горного ледника для отображения положения морен и других особенностей, характерных для поверхности ложа.

Процессы выщипывания и истирания, происходящие под ледником, выкапывают породу на ее ложе, и после придания формы и сглаживания отделенных фрагментов породы они включаются в нижние слои льда в виде *приледниковых* обломков горных пород. В местах, благоприятных для его накопления, часть этого материала вместе с гораздо более мелкими обломками и каменной мукой остается в виде измельченной морены на дне ледника (см. [Рис. 421](#)).

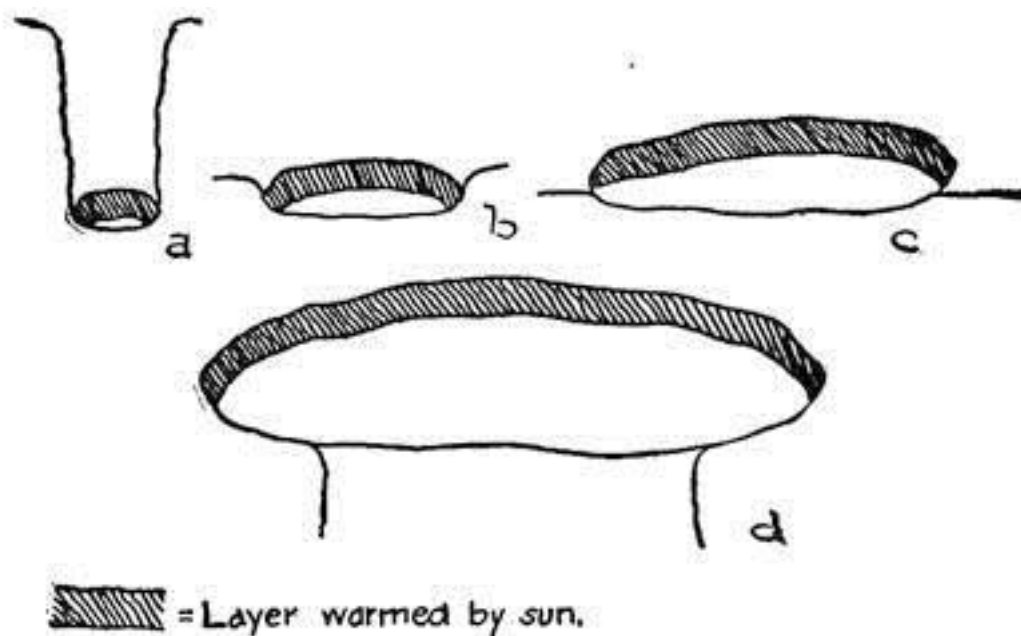


Рис. 422. Фрагменты горных пород разного размера, демонстрирующие их различное влияние на таяние поверхности ледника.

У подножия ледника относительно угловатые обломки горных пород, вынесенные на поверхность, а также подошвенный и полированный ледниковый материал со дна, сходным образом отложены в общем краевом гребне, известном как *конечная* или *концевая морена* ([фото 21b](#)).

Табличка 21.



А. Вид на ледник Гарвард, Аляска, с характерными террасами (после гранта США).



Б. Конечная морена у подножия горного ледника (в честь Джорджа Кинни).

Выборочное таяние на поверхности ледника.—Белая поверхность ледника обычно отражает большую часть достигающих его солнечных лучей, и его более быстрое таяние в значительной степени осуществляется за счет обломков горных пород, разбросанных по его поверхности. Однако такие фрагменты ускоряют или замедляют процесс таяния обратно пропорционально их размеру до определенного предела, и при превышении этого размера их действие всегда направлено на защиту ледника от солнца. Эта приятная корректировка размера фрагментов породы будет понятна при рассмотрении [рис. 422](#), поскольку порода плохо проводит тепло, и даже в самый длинный летний день заметно нагревается только

тонкий внешний слой. Большие каменные блоки, сгруппированные в медиальных и латеральных моренах, сдерживают процесс опускания поверхности ледника в течение лета, так что в конце сезона эти морены возвышаются на пятьдесят футов или более над ледником в виде бронированных ледяных гребней.

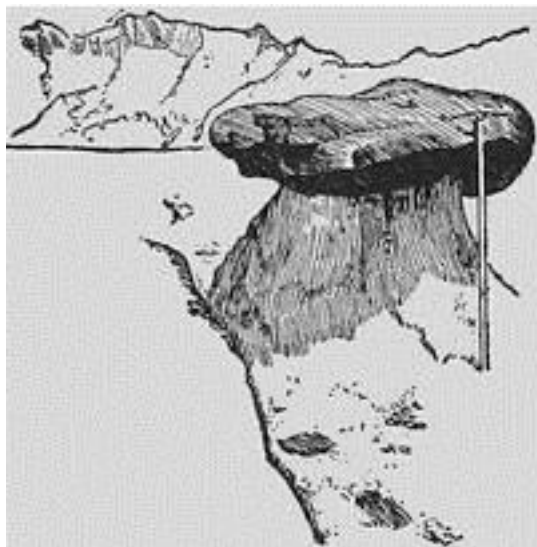


Рис. 423. Таблица Малых ледников на поверхности Большого ледника Алеч в 1908 году.

Изолированные и крупные каменные плиты с наступлением сезона могут образовывать ледяной пьедестал, над которым они нависают и который известен как *ледниковые столы* (рис. 423). На таких столах солнце сильнее воздействует на одну сторону, чем на другую, так что плита все больше и больше наклоняется к югу и в конечном итоге может соскользнуть вниз, пока ее края не упрутся в поверхность ледника. Округлые валуны, которые реже устанавливаются на ледяные пьедесталы, могут в результате аналогичного процесса соскользнуть с южной стороны и оставить ледяную пирамиду, изрезанную бороздами на этой стороне и известную как *ледяная пирамида*.

С другой стороны, мелкая грязь, разбросанная по поверхности ледника, наиболее эффективно снижает его уровень за счет таяния. Эти знания были использованы для уменьшения больших снежных заносов, которые приходилось убирать каждый сезон во время строительства новой Бергенской железной дороги на юге Норвегии. Каждая частица грязи, прогреваемая солнечными лучами, быстро впитывается в поверхность ледника, пока образовавшийся *пылевой колодец* не станет настолько глубоким, что косые лучи солнца больше не достигнут его. Когда частицы грязи находятся близко друг к другу, теплый воздух летних дней атакует тонкие стенки, разделяющие пылевые колодцы, с боков, в результате чего из пятна грязи на поверхности ледника образуется *ванна* (рис. 424 d). Ночью вода, заполняющая эти бассейны, замерзает, образуя слой ледяных игл, выступающих внутрь стенки, и это, повторяемое в последующие ночи, может полностью закрыть бассейн водяным льдом и образовать знакомую *ледниковую звезду* (рис. 424 в).

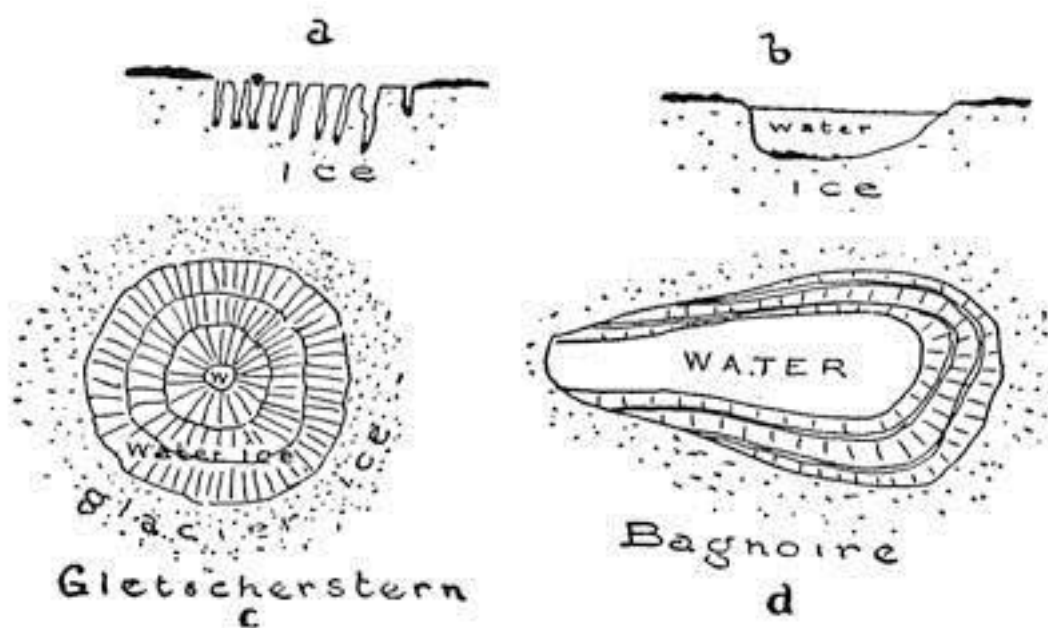


Рис. 424. Влияние дифференциального таяния и последующего повторного замерзания на поверхность ледника. *a* - пылевые колодцы; *b* - ванна для ледника, образовавшаяся в результате таяния группы рассеянных частиц пыли; *c* - ледниковая звезда, образовавшаяся, когда вода в ледниковом колодце замерзла за последующие ночи; *d* - "ванна".

Если грязь на поверхности ледника вместо того, чтобы быть разбросанной, расположить так, чтобы образовалось пятно, полностью покрывающее лед толщиной в дюйм или более, эффект будет совершенно иным. Защищая, как это происходит сейчас, лед внизу, местный ледяной холм возвышается на своем месте по мере понижения окружающей поверхности, и по мере увеличения высоты его уклоны увеличиваются, и часть грязи сползает вниз по склону. Конечным результатом такой формовки является почти идеально конический ледяной холм, покрытый грязью и известный как *обломки, песок или грязевой конус* (рис. 425). Новичок в изучении ледников склонен предположить, что эти черные конусы содержат только грязь, но его грубо возвращают к реальности, когда он пытается разбить их ногой на куски. Как ледниковые впадины, так и конусы обломков могут принимать большие размеры; как, например, на Аляске, где их можно правильно описать как озера и холмы.

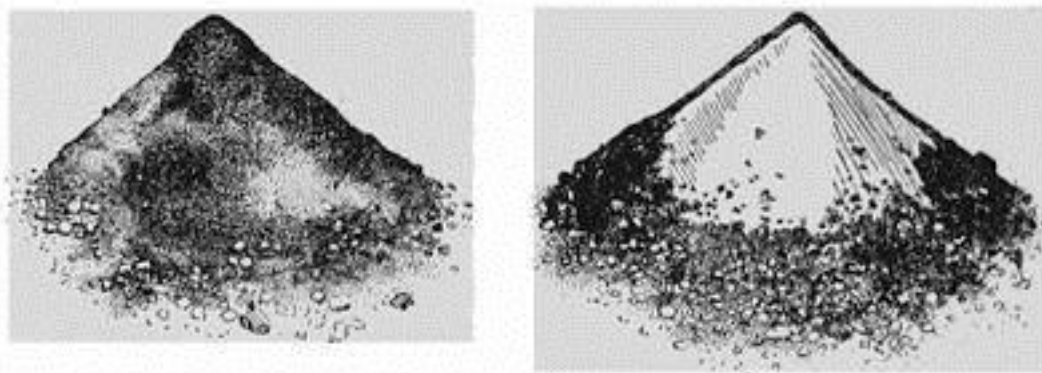


Рис. 425. — Грязевой конус и еще один конус с частично снятой оболочкой. Ледник Виктория (после Шерцера).

Участок твердого и плотного снега, который легче растапливать, чем тот, на котором он лежит, может привести к образованию снежных конусов на поверхности ледника, сходных по размеру и форме с более известными конусами обломков. Такие снежные конусы с

сомнительной уместностью были названы “кающимися”, поскольку совершенно ясно, что интересные склоненные снежные фигуры, которые действительно напоминают кающихся и которые были впервые описаны в южных Андах под названием *ньевес кающихся*, имеют несколько иной характер.

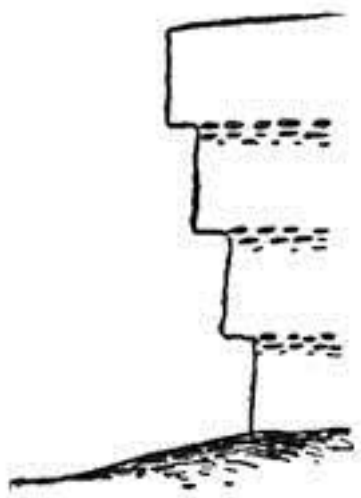


Рис. 426. Принципиальная схема, показывающая способ образования карнизов ледника.

Остается упомянуть еще об одной особенности льда, образовавшейся в результате дифференциального таяния вокруг частиц горных пород. Везде, где сезонные снегопады не обнажаются в расщелинах, обычно обнаруживается, что они разделены слоями грязи, а полосы гальки аналогичным образом разделяют те слои льда, которые обнажаются у подножия ледника. В любом случае, если солнечные лучи могут достичь этих слоев в открытой расщелине, наполовину погребенные фрагменты породы нагреваются солнцем на своих открытых поверхностях и медленно растапливают лед, таким образом удаляя с него тонкий слой снега или льда и заставляя ту часть, которая находится над слоем гальки, выступать наподобие карниза. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока нависающий карниз не защитит гальку от дальнейшего нагревания солнцем, но каждый нижний слой гальки, которого достигнет солнце, создаст дополнительный карниз, так что первоначальная поверхность внизу может быть удалена в результате процесса на несколько дюймов. Эти особенности описаны как *ледниковые карнизы* (рис. 426).

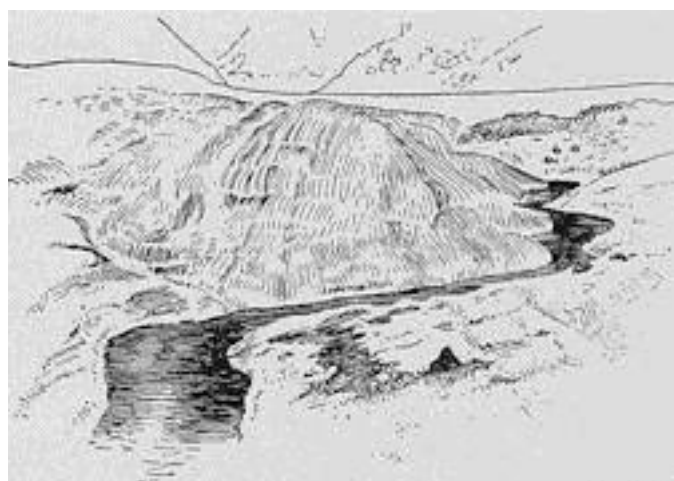


Рис. 427. Сверхледниковый поток на Большом леднике Алеч.

Дренаж ледников.—Уже ранним утром каждого теплого летнего дня на поверхности швейцарских ледников начинается активное таяние. Струйки ледяной воды вскоре пробиваются по углублениям на поверхности и соединяются друг с другом так, что иногда они образуют ручейки значительных размеров (рис. 427). Такие потоки продолжают свое извилистое течение до тех пор, пока их не пересекает расщелина, вниз по которой вода устремляется вращающимся вихрем, который вскоре образует во льду вертикальную шахту круглого сечения. Такие шахты с нисходящими столбами бурлящей воды представляют собой хорошо известные *мулены*, или “мельницы”, которые можно распознать издали по булькающим звукам. Первый всплеск воды может не достичь дна ледника, и в этом случае поток находит проход ниже поверхности, но выше дна, пока не встретится другая трещина и не будет сделан новый всплеск, здесь, возможно, на дно. Оказавшись на дне долины, к ручью присоединяются другие, и он продолжает свое течение в ледяном туннеле собственного изготовления (рис. 421, стр. 394), пока не выйдет из берегов ледника.

Самые крупные из горных обломков, которые были собраны потоком на поверхности ледника, оседают внутри туннеля в несовершенном виде (гравий и песок), в то время как все более мелкие материалы и то, что поднято с пола (каменная мука), остаются во взвешенном состоянии и придают вытекающему потоку непрозрачно-белый вид. Это *ледниковое молоко* обычно можно проследить далеко в долинах или на переднем крае, и часто оно является первым признаком того, что хребет, к которому он приближается, покрыт ледниками.

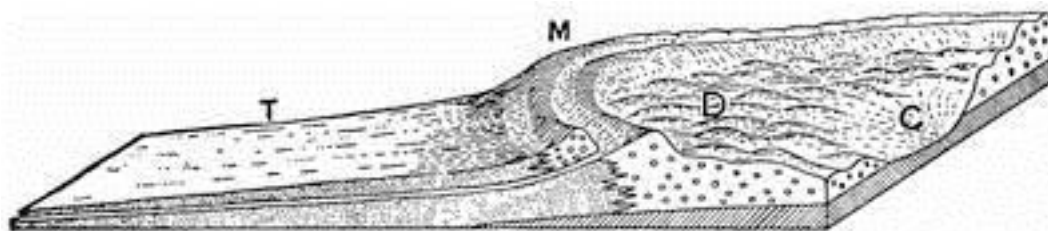


Рис. 428. Идеальная форма поверхности, оставшаяся на месте выступа предгорного ледника. М, морена; Т, размыв; С, бассейн, обычно занятый озером; D, драмлинс (по Пенку).

Отложения в пределах освобожденной долины.—Для каждой раскопки более высоких частей нагорья с помощью ледниковой скульптуры существует соответствующее отложение добытых материалов на более низких уровнях. Поскольку эти материалы откладываются непосредственно льдом, они образуют уже описанные латеральные, медиальные, донные и терминальные морены. Значительная часть из них, однако, откладывается водой за пределами конечной морены; но поскольку при уменьшении площади ледника фронт льда отступает, останавливая движения по области, ранее покрытой льдом, конечные морены расположены вдоль освободившейся долины как *морены впадины*, каждая с чередой смылов вниз. Около подножия ледника пьемонт такие отложения особенно велики (рис. 428). Во время “ледникового периода” швейцарские ледники простирались по долинам ниже существующих остатков льда и распространились по швейцарской передней части в виде больших предгорных ледников, таких, какие сейчас можно увидеть на Аляске. Сегодня мы находим там морены и ледниковый отлив, озеро в центре площадки фартука, а иногда и группу расходящихся друмлинов, подобных тем, что встречаются в ледяных долях континентального ледника в южном Висконсине (рис. 429 и рис. 344, стр. 317).

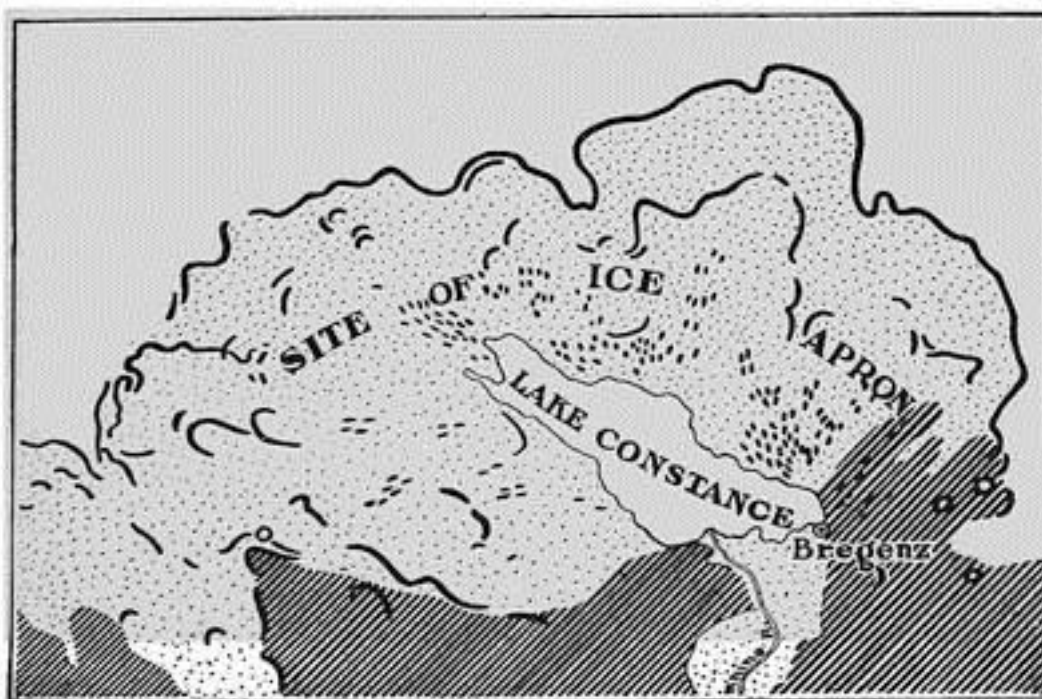


Рис. 429. Морены и друмлины около Боденского озера на месте более раннего пьемонтского ледника Верхнего Рейна. Белая область за пределами самой внешней морены погребена под ледниковым смывом (по Пенку и Брюкнеру).

За рецессивными моренами в пределах оледеневшей долины находятся долинные моренные озера (рис. 448, стр. 413), связанные с озерами скального бассейна из-за ледниковой скульптуры (рис. 447, стр. 412). После того, как ледник покинул свою долину, отвесные боковые стены становятся жертвой обледенения и становятся ареной катастрофических сход лавин или оползней. Внутри цирков снежные заносы сохраняются еще долгое время после того, как лед сошел, и, как следствие, стены амфитеатра поддаются процессу солипсирования (с. 153).

Отводы и обратные стоки, которые столь характерны для работы континентальных ледников, едва ли менее распространены в горных районах, покрытых оледенением. Многие из наших самых красивых водопадов возникли в результате временного или постоянного засорения более ранних долин над водопадами. Знаменитый водопад Йосемити представляет собой интересную иллюстрацию смещения более раннего водопада, который сам, без сомнения, был вызван блокировкой льда во время еще более раннего оледенения (фото 22 В).

Следы более раннего заселения гор ледниками.— Хорошо, что сейчас мы должны свести воедино в рамках небольшого компаса те свидетельства, с помощью которых можно доказать существование более ранних горных ледников в любом районе. Эти знаки настолько глубоко врезались в ландшафт, что никому не нужно ошибаться в их интерпретации.

СЛЕДЫ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ

Скульптура высокого уровня. Рифленая возвышенность с ее кольцами или зубчатая возвышенность с ее кольцами, кольцами, рогами и гребенчатыми гребнями.

Скульптура низкого уровня. U-образная главная долина, висячие боковые долины с их ленточными водопадами, ледниковая лестница с ее скальными выступами и ущельями, округлый, полированный и исчерченный каменный пол.

Депозиты. Впадинные морены тилля и долины состоят из песка и гравия, подошвенные неустойчивые блоки всегда происходят с более высоких уровней долины.

Озера. Долинные моренные озера и цепи озер скальных бассейнов.

Список литературы для чтения главы XXVIII

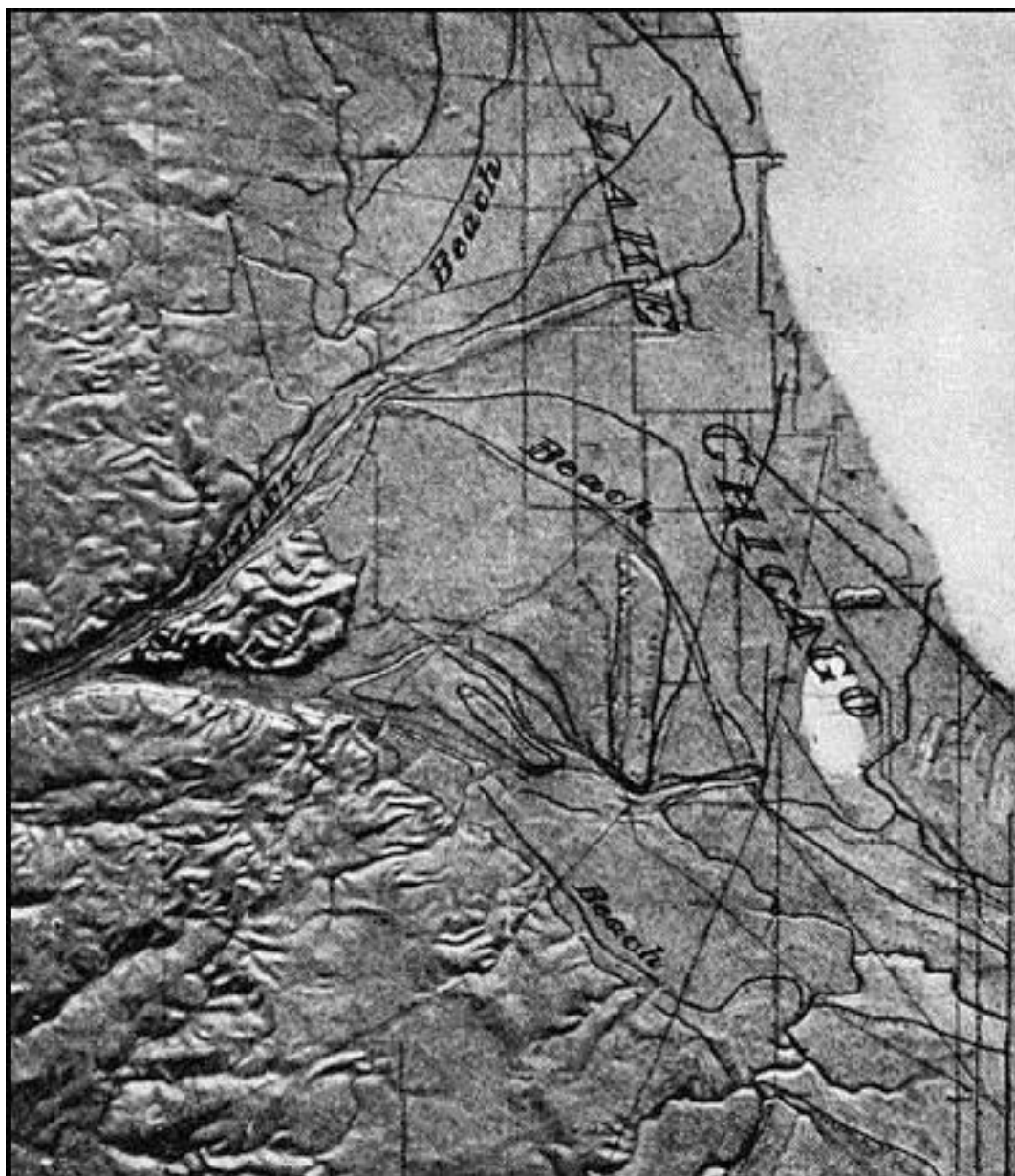
Движение ледника:—

Л. Агассис. Nouvelles Études et Expériences sur les Glaciers Actuels, etc., Paris, 1847, pp. 435-539.

Х. Гесс. Die Gletscher, Braunschweig, 1904, pp. 115-150.

Х. Ф. Рид. Механика ледников, журнал. Геология., том 4, 1896, стр. 912-928; Глейшер-Бей и его ледники, 16-я энн. Rept. U. S Geol. Обзор, Часть i, 1898, стр. 445-448.

Табличка 22.



А. Модель окрестностей Чикаго, показывающая расположение древних пляжей и выхода из бывшего озера Чикаго.



Б. Карта водопада Йосемити и его более раннего расположения возле Игл-Пик (в честь Ф. Э. Маттеса).

ГЛАВА XXIX

ИЗУЧЕНИЕ ОЗЕРНЫХ БАССЕЙНОВ

Пресноводные и соленые озера.—Для существования озер необходим бассейн, в пределах которого вода может быть забита, и запас воды, более чем достаточный для покрытия потерь от просачивания и испарения. Если их избыток превышает то, что необходимо для покрытия этих потерь, озера имеют выходы и остаются пресными; в этом случае содержание

минеральных веществ в них слишком незначительно, чтобы их можно было определить на вкус. С другой стороны, если подача недостаточна для перелива, продолжающееся испарение приводит к повышению концентрации минеральных веществ в воде, поскольку она постоянно увеличивается за счет притока воды.

Как мы видели, в районах с небольшим количеством осадков происходят особые процессы выветривания, которые, как правило, выводят соли из недр горных массивов, причем эти концентрированные соли обычно сначала появляются в виде высолов на поверхности, которые в конечном итоге переносятся ветром и ливневыми дождями в характерно соленые озера пустыни.

Озерные бассейны могут формироваться разными способами. Впадины на поверхности суши могут возникать в результате тектонических движений земной коры; они могут образовываться в результате процессов выемки грунта; но в гораздо большем количестве случаев они возникают в результате заграждения в некотором роде долин, которые раньше характеризовались равномерно направленными уклонами. В относительно немногих случаях сыпучие материалы насыпаются таким образом, чтобы получились довольно симметричные чаши.

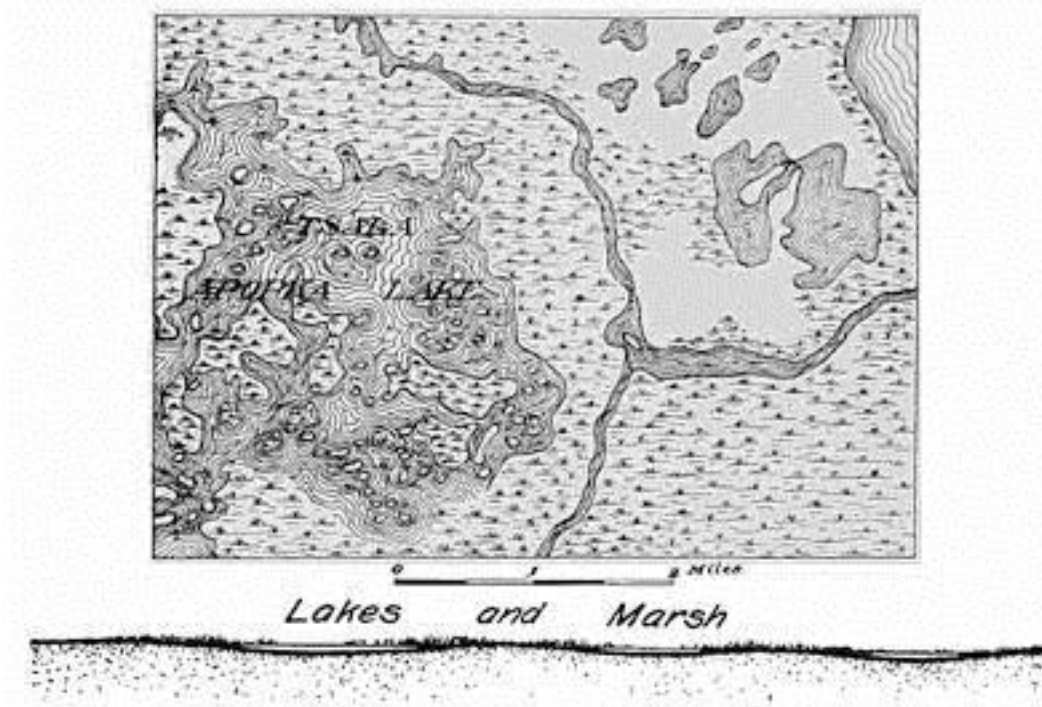


Рис. 430. Карта и диаграмма для обозначения характеристик озер Ньюленда.

Ньюлендские озера.—На суше, недавно поднявшейся из моря, бассейны озер могут быть просто унаследованными небольшими неровностями более раннего морского дна, и в этом случае можно предположить, что они в значительной степени являются результатом неравномерного распределения отложений, полученных с суши. Озера этого типа особенно хорошо представлены во Флориде и известны как ньюлендские озера (рис. 430). Такие озера исключительно мелководны и, как правило, имеют неправильные очертания и чрезвычайно низкие берега. При таких обстоятельствах они вскоре заполняются густой растительностью, так что иногда бывает трудно правильно отличить озеро от болота.

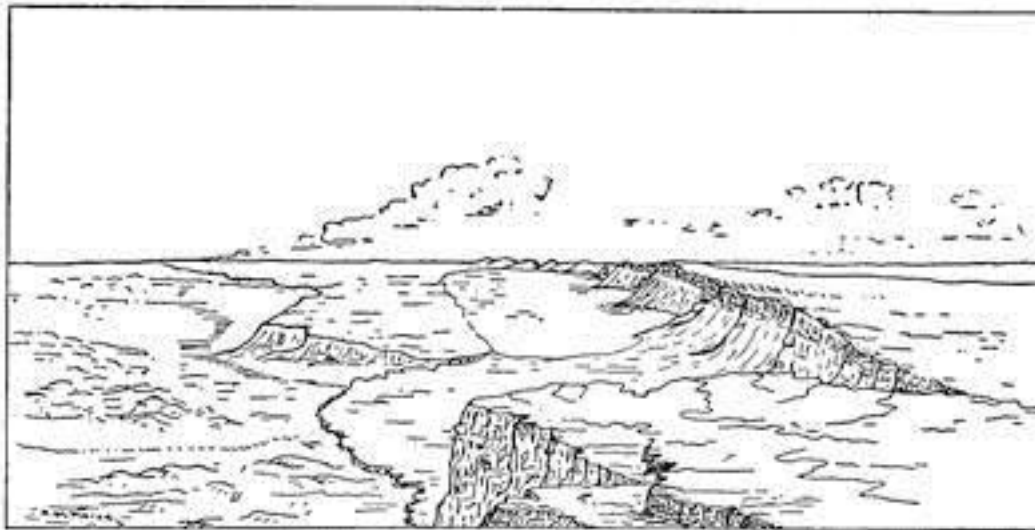


Рис. 431. Вид на озера Уорнер, штат Орегон (после Рассела).

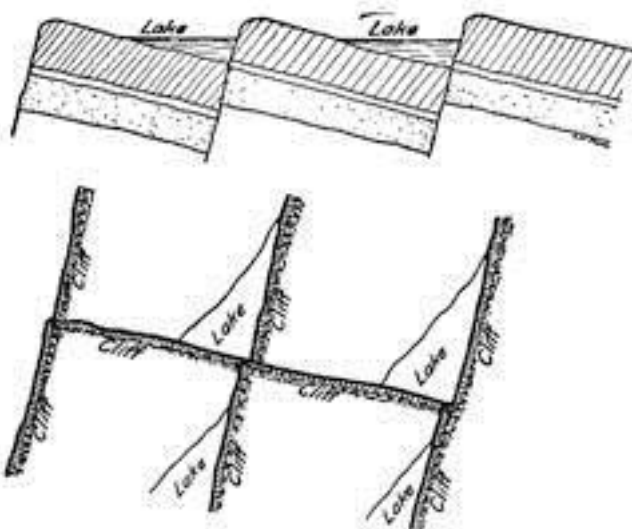


Рис. 432. Принципиальные схемы, иллюстрирующие характеристики озер, расположенных в пределах бассейна.

Озера, расположенные в пределах бассейна.—Можно сказать, что озера Ньюленда берут свое начало в поднятии суши и морского дна вблизи их общей границы. Тип озера, зависящий от движений земной коры, но находящийся во внутренних районах, был описан как бассейновый тип, примером которого являются озера Уорнер в штате Орегон. В этом районе большие прямоугольные блоки земной коры, которые, по крайней мере, в своих верхних частях состоят из базальтовых лав, подверглись вертикальной корректировке уровня и были наклонены так, что соответствующие углы соседних блоков получили одинаковую степень наклона вниз (рис. 431). Образованные таким образом озера имеют треугольную форму, ограничены с двух более коротких сторон скалами, но имеют чрезвычайно плоские берега с самой длинной стороны. От этого берега глубина воды постепенно увеличивается и достигает максимальной глубины под противоположным углом или вблизи него. Такие озера, естественно, имеют тенденцию появляться последовательно (рис. 432), и, к сожалению, слишком часто после ливня их изображают в малом масштабе в виде наклоненных блоков на некачественно сделанных цементных тротуарах.

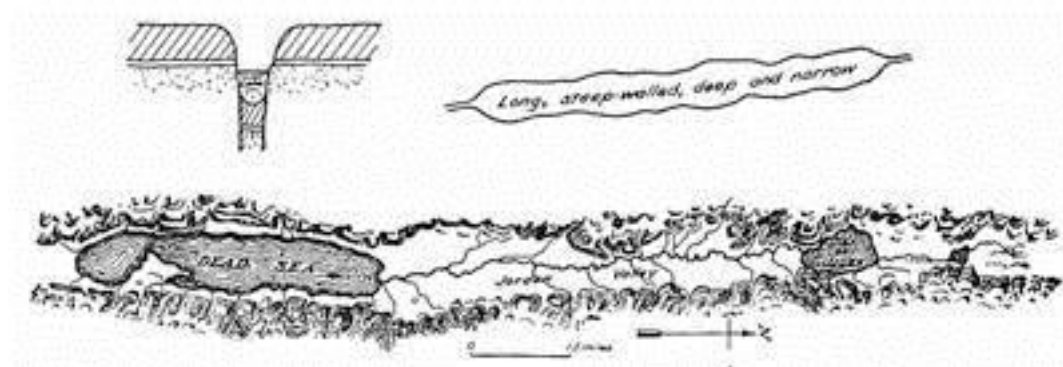


Рис. 433. Принципиальные схемы озер рифтовой долины и рифтовой долины Иордана с Мертвым морем и Галилейским морем как остатками более крупного озера, в которое были включены их бассейны.

Озера рифтовой долины.—Другой тип озерного бассейна, который берет свое начало в подвижках разломных блоков, известен как озеро рифт-вэлли, и лучшим примером его являются великие озера на востоке Центральной Африки. В этом типе полоса земной коры, длина которой во много раз превышает ее ширину, была относительно углублена между блоками с обеих сторон, так что образовался глубокий разлом, или то, что в Германии известно как *грабен* (траншея). Такой бассейн, когда он заполнен водой, образует озеро, которое является длинным, прямым, глубоким и узким и, кроме того, ограничено по бокам крутыми скальными утесами. На концах берега, напротив, обычно явно низкие. Если бы можно было исследовать твердую породу на дне озера, то оказалось бы, что она того же типа, что и та, что обнажается у вершин боковых утесов. Долина Иордана в Палестине представляет собой разлом такого характера и когда-то была занята длинным и узким озером, сохранившимися остатками которого являются Мертвое море и Галилейское море (рис. 433).



Рис. 434. Карта озер рифтовой долины на востоке Центральной Африки.

Одним из наиболее ярких примеров озера рифтовой долины является озеро Танганьика, в то время как Альберт Ньянза, Ньясса и Рудольф в том же регионе похожи ([рис. 434](#)).



Рис. 435. Сейсмические озера, образовавшиеся в пойме нижнего течения Миссисипи во время землетрясения 1811 года (после Хамфриса).

Озера, вызвавшие землетрясение.— Сложные изменения уровня поверхности земли во время ощутимых землетрясений, многие из которых проявляются не иначе, как в результате нарушения состояния поверхностных вод. В такие периоды вода скапливается либо в бассейнах, либо в широких озерах, которые, поскольку они образовались в результате известных землетрясений, были названы “озерами землетрясений”, хотя в строгом смысле любое озеро, возникшее в результате движения земли, можно было бы правильно рассматривать как озеро землетрясений. Однако, чтобы избежать ненужной путаницы, этот термин следует ограничить теми озерами, которые, как известно, образовались во время определенных землетрясений (рис. 435). Озеро Рилфут в Теннесси, которое в последние годы приобрело нежелательную известность из-за распрей между рыбаками округа и официальными властями, представляет собой озеро более двадцати миль в поперечнике и возникло во время сильного землетрясения в нижней части долины Миссисипи в 1811 году.

Кратерные озера.—Кратеры вулканических гор являются естественными бассейнами, в которых обязательно скапливаются поверхностные воды, при условии, что их запас достаточен и просачивание в сыпучие материалы не является чрезмерным. Некоторые кратеры, все еще заметно более или менее активные, заняты озерами (рис. 436).

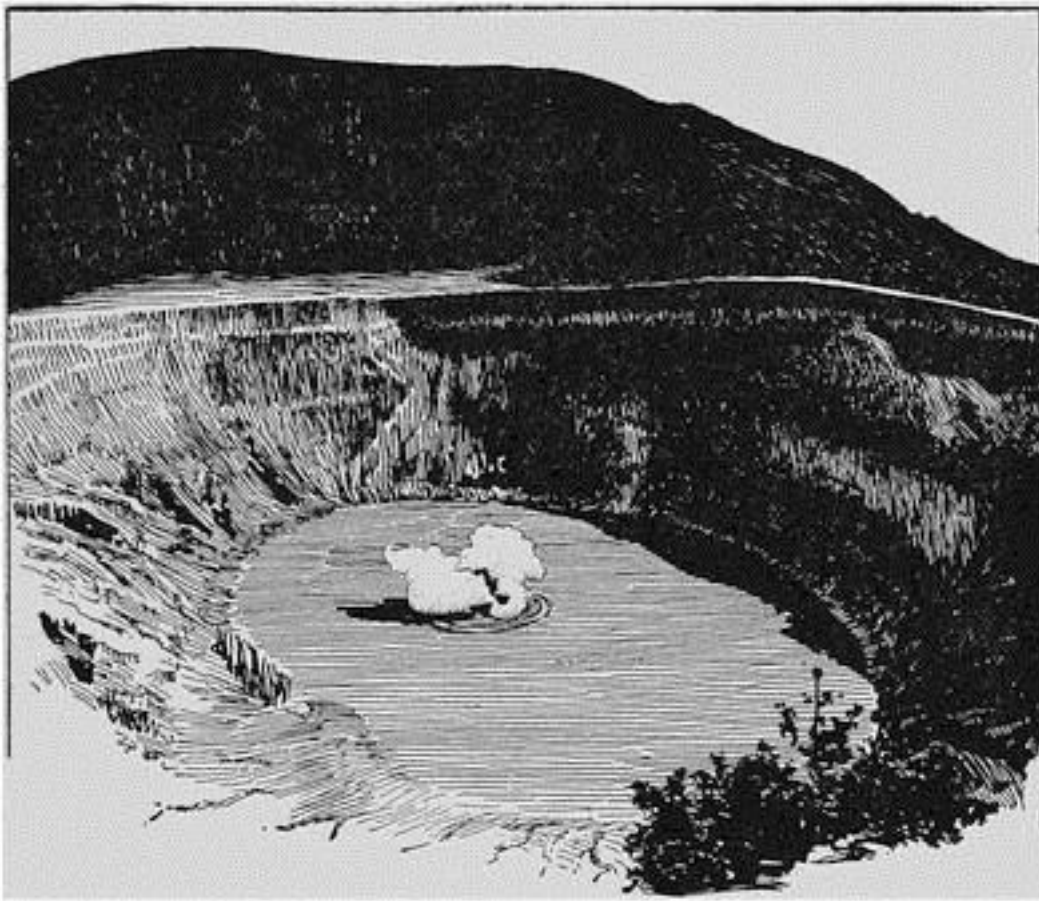


Рис. 436. Вид на озеро в кратере Поас в Коста-Рике, вулканический кратер более полумили в поперечнике и со стенами глубиной 800 футов. Время от времени происходит выброс пара, смешанного с грязью и пеплом, на манер гейзера (по Х. Питтье).

В большем числе случаев, когда кратеры заполняются озерами, свидетельства продолжающейся активности отсутствуют, и в таких случаях может показаться, что лава из дымовой трубы консолидировалась в вулканическую пробку, закрыв дно кратера. Примечательными группами кратерных озер являются *Кальдера* в Римской Кампанье (рис. 437) и так называемый *мааре* в Эйфеле на Нижнем Рейне. Кратерные озера легко узнать по их круглой форме, их крутым стенам из вулканических материалов и значительной глубине с максимумом ближе к центру.

Одним из самых замечательных из этих заполненных водой бассейнов является озеро Кратер в штате Орегон, которое имеет диаметр около шести миль и, как полагают, образовалось в результате обрушения огромного вулканического конуса на последней стадии его активности. Этот замечательный объект в настоящее время объявлен национальным парком, и вскоре до него будет удобно добираться туристам, и он будет считаться одним из величайших чудес природы Тихоокеанского склона.

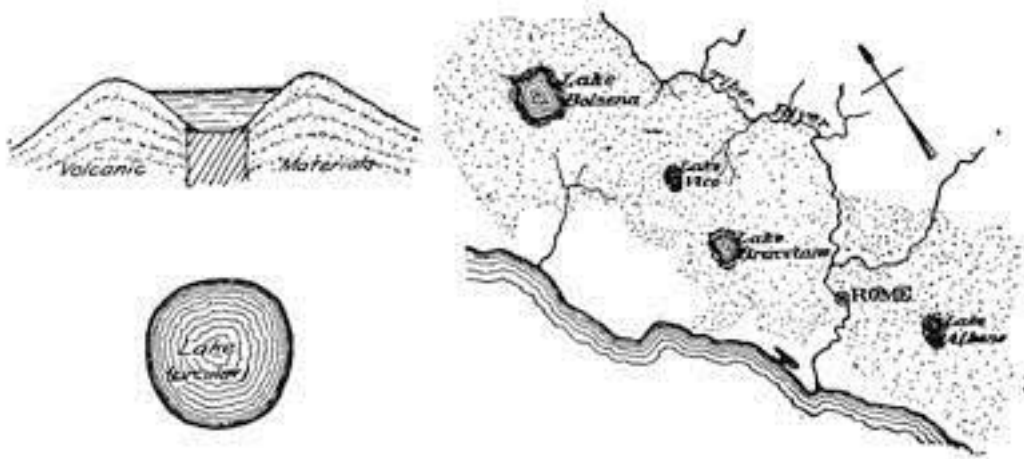


Рис. 437.—Диаграммы, иллюстрирующие характеристики кратерных озер. Римская Кампанья представляет собой равнину, образованную вулканическим пеплом, с пересекающими ее кратерными озерами Браччано, Вико и Больсено.

Озера Куле.—Гораздо более важными озерами являются те вулканические бассейны, которые возникают в результате прохождения потока лавы через долину реки, чтобы затопить ее воды (рис. 438).

Во время великого извержения вулкана Скаптар-Екюдль в 1783 году река Скаптар и многие ее притоки были перекрыты потоком лавы, который, по оценкам, по массе превышал Монблан.

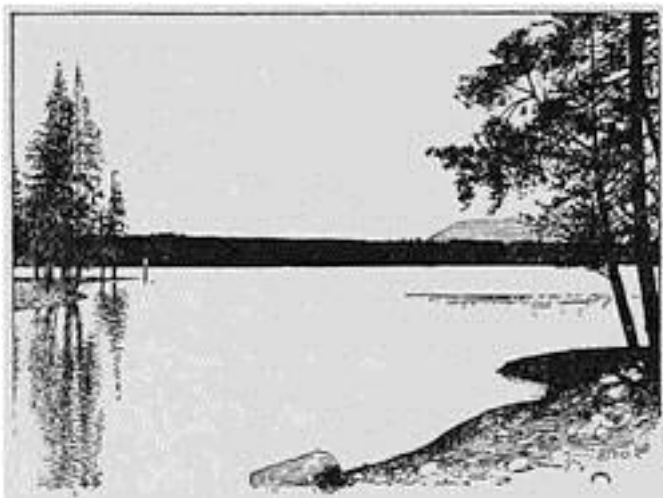


Рис. 438. Вид на озеро Снаг, куле озеро с лавовой плотиной, показанное на среднем расстоянии (после Фэрбенкса).

Моренные озера.—Как мы узнали, препятствие дренажу из-за распределения обломков горных пород континентальными ледниками привело к образованию озер в почти бесчисленном количестве. Вероятно, девяносто процентов или более известных озер имели это происхождение, и тип настолько распространен в некогда покрытых льдом регионах, что, возможно, является лучшим отличительным признаком прежнего оледенения. Бугристая поверхность моренных отложений настолько характерна, что озера этого типа никогда не бывают очень большими и, соответственно, имеют неправильные очертания. У них часто есть многочисленные острова, а их берега образованы сочетанием каменной муки и истертых льдом материалов, известных как тилль (рис. 439). Самые маленькие из моренных озер - это просто котлованы на окраинной морене, и они быстро сменяются торфяными

болотами. В отличие от карьерных озер, у моренных озер отсутствуют крутые окружающие склоны и окружающая равнина.

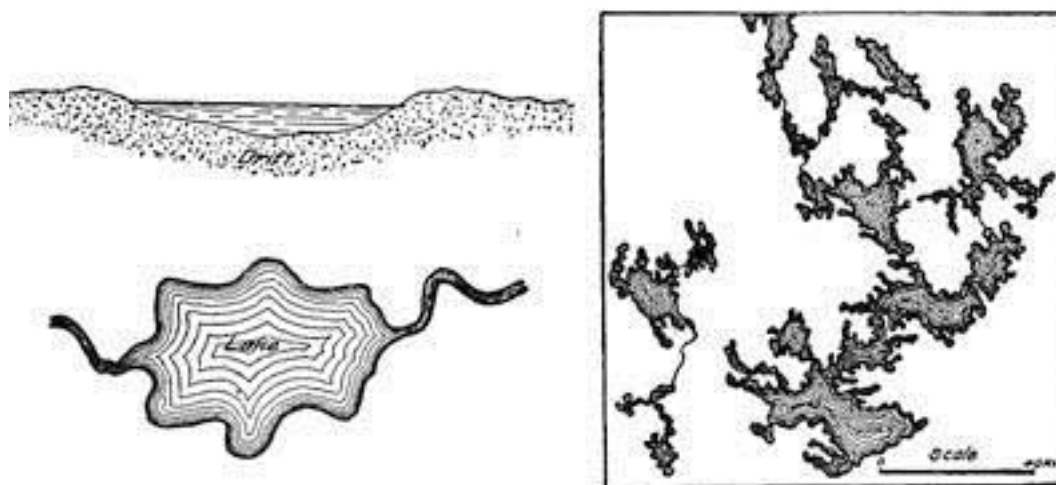


Рис. 439. Диаграммы, иллюстрирующие характеристики моренных озер, и примерная карта таких озер из оледенелого региона Северной Америки.

Карьерные озера.—Так называемые карьерные озера берут свое начало в период континентального оледенения и встречаются группами на широких равнинах ледникового смыва (в основном песка и гравия), которые по этой причине описаны как “изрытые равнины” (см. [стр. 314](#)). Те участки, которые лежали между соседними долями ледяного покрова, были подвержены особенно сильным отложениям смывного материала и, как следствие, с особой вероятностью могут быть заняты карьерными озерами. Как указывалось в предыдущем разделе, вода, образующаяся в результате поверхностного таяния в краевых частях континентального ледника, опускается на дно в трещинах и затем течет в ледяном туннеле в тех же условиях, что и вода, текущая по трубе. Имея в большинстве случаев значительный напор на внешней границе льда, эта вода может подниматься и выходить значительно выше нижних слоев льда и, таким образом, покрывать часть кромки льда под песком и гравием ([рис. 440](#)). Таким образом, разделенные блоки, часто массивных размеров, погребены под непроводящими материалами, которые надолго защищают их от дальнейшего плавления. Однако со временем, с наступлением еще более мягкого климата, они исчезают, в результате чего покрывающий слой песка и гравия оседает и образует яму с крутыми стенами, похожую на ямы для опилок над растаявшими глыбами льда на наших складах.

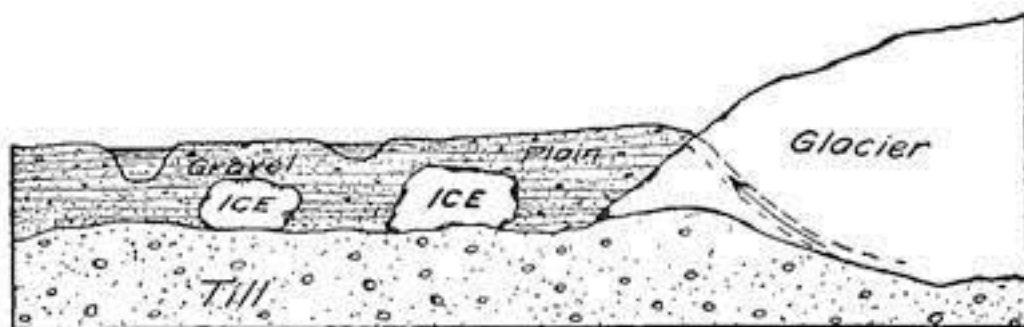


Рис. 440.Схема, показывающая способ образования карьерных озер.

Карьерные озера, таким образом, легко распознать по тому, что они обычно встречаются группами в пределах равнины ледниковых смылов и по их характерным берегам, наклоненным под углом покоя таких материалов (рис. 441).

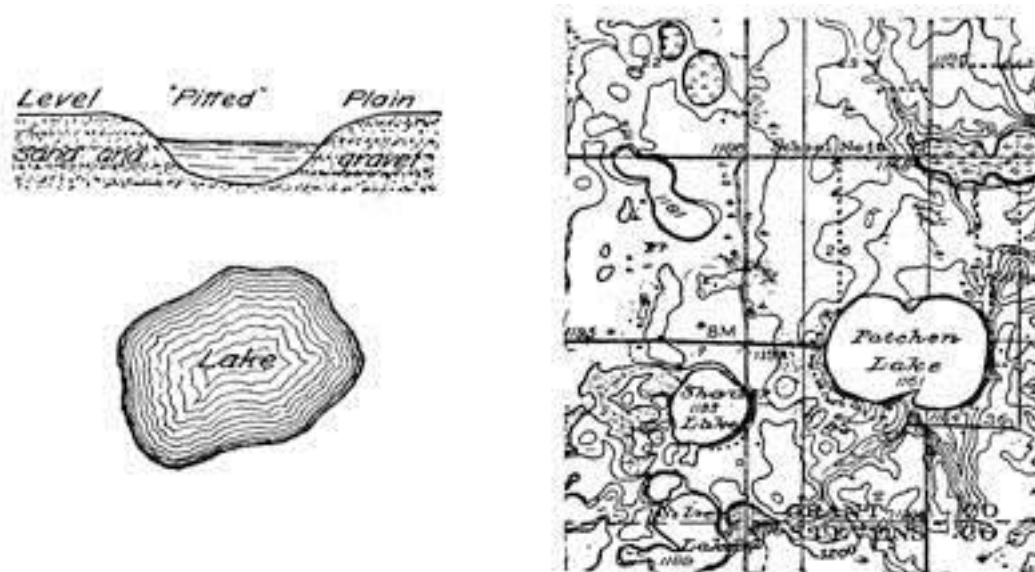


Рис. 441. Диаграммы, иллюстрирующие характеристики озер пит, и примерная карта ледникового региона Северной Америки.

Озера Глинт или колк.—Было обнаружено, что для существующих континентальных ледников верно то, что там, где их масса сдерживалась горной стеной, их течение у порталов внутри этого вала значительно ускоряется. Хотя верхние слои ледника в окрестностях могут продвигаться вперед со скоростью всего лишь дюйм в день, течение в пределах выходного отверстия может быть в семьсот или тысячу раз больше. Во многих отношениях эти условия аналогичны условиям на дорожке качения водохранилища, где ближайшая поверхность воды опускается за счет напора выходного отверстия, а течение в дорожке качения настолько ускоряется, что при отсутствии защиты дно дорожки уносится и выкапывается котлован, который простирается на небольшое расстояние как выше, так и ниже положения плотины. В Голландии такие впадины, выдолбленные под разрывами дамб, известны как колки. Бассейны, которые были вырыты под выходами ледников с помощью аналогичного процесса, не будут открыты для нашего осмотра до тех пор, пока лед не сойдет с территории региона; но наиболее важно, что в Скандинавии, где континентальный ледник плейстоцена, продвигавшийся на запад от Балтики, сдерживался уступом на границе Норвегии (*отблеск*), озерные бассейны были вырыты в твердых породах, стенки которых имеют истирание и полировку, характерные для ледниковой скульптуры, и положение которых таково, что они лежат под бывшими выходами, частично выше, а частично ниже линии ледниковой скульптуры. откос. Их положение относительно вала и бывших выходов показано на рис. 442. Самым крупным из глинтовых озер этой серии является Торнетраск в северной Лапландии (см. стр. 277 и рис. 443).



Рис. 442. Схема, показывающая способ образования бликовых или выходных озер там, где континентальный ледник Скандинавии вышел из Балтийской впадины через порталы в своем горном валу.



Рис. 443. Карта, показывающая серию глент—озер, которые лежат по ту сторону международной границы Швеции и Норвегии.

Озера, запруженные льдом.—Всякий раз, когда континентальный ледник, либо продвигаясь своим фронтом, либо отступая, пересекает линии водоотвода на стороне, расположенной ниже по течению, вода скапливается вдоль ледяного фронта, образуя озера, похожие на ледяные плотины. Такие озера сегодня встречаются в Гренландии и в южных Андах, и подобные водоемы гораздо большего размера и важности возникали во времена плейстоцена каждый раз, когда континентальные ледники Северной Америки и Европы наступали на речные системы соответствующего направления или отходили от них. Таким образом, над Балтийской впадиной, когда фронт льда лежал к востоку от главного водораздела, каждая долина с восточным уклоном была перегорожена льдом и занята озером с ледяной запрудой (рис. 444), берега которого можно проследить и сегодня (рис. 445).



Рис. 444. Озера—ледяные плотины (черным) между фронтом позднеплейстоценового ледника северной Европы и водоразделом у границы с Норвегией (по Г. де Гиру).

Одна сторона каждого озера с ледяной плотиной образована ледяным утесом на фронте ледника, и если регион относительно плоский, остальные берега, вероятно, образованы маргинальной мореной, оставленной ледником при его отступлении. Таким образом, на более мелких стадиях ледяные озера в прериях имеют форму полумесяца, которая тем более выражена, что волны, набегаая на ледяной фронт, сглаживают кривизну его очертаний (см. [Рис. 360, стр. 330](#)).

Жизнь озера с ледяной запрудой начинается и заканчивается важными изменениями очертаний ледника, и после осушения озер в результате этого процесса берега суши могут быть обозначены пляжами, а кромка льда - покрытой водой мореной низкого рельефа ([рис. 359, с. 330](#)).

Гораздо меньшее по размеру, но во многих отношениях похожее на ледяную плотину озеро сегодня можно увидеть на склоне Большого ледника Алец, горного ледника Швейцарии. Путешественник, совершающий легкое восхождение на Эггисхорн, может посмотреть прямо вниз на это озеро в форме полумесяца с ледяным утесом на стороне ледника (см. [Рис. 446](#)).

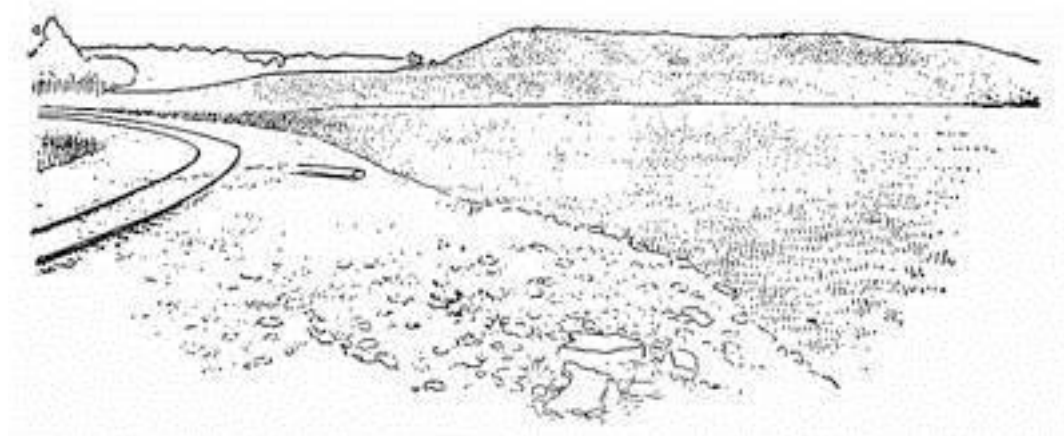


Рис. 445. Изрезанная волнами терраса на высоте 177,5 метров над уровнем моря на южном склоне долины северная Дала к северу от Баггедалена в Швеции. Справа на переднем плане - торфяное болото (после Мунте).

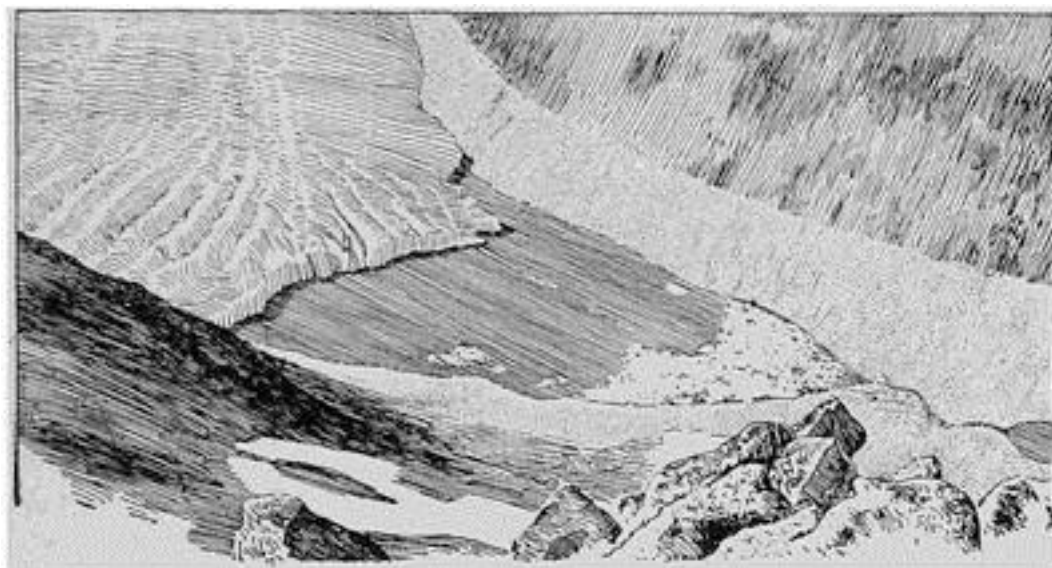


Рис. 446. Вид на озеро Марьелен у подножия Большого ледника Алеч, видимый прямо вниз с вершины Эггисхорна (по фотографии И. Д. Скотта).

Озера ледниковой доли.—На местах бывших долей плейстоценового ледника Северной Америки расположены бассейны системы рек Лаврентия, крупнейшие пресноводные озера в мире. Было много споров относительно способа образования этих озер, но точка зрения, которая, казалось, получила наибольшее распространение, заключается в том, что они были образованы в результате размывающего действия континентального ледника над водосборными бассейнами бывших рек. Это всего лишь один этап длительного спора между противоположными школами, которые отстаивали, с одной стороны, эффективность ледникового льда как разрушающего агента, а с другой - его предполагаемую защиту от процессов выветривания. Расположение и очертания нескольких озер этой серии в достаточной степени указывают на их связь с бывшими ледниковыми долями, а принятое нами название все еще оставляет открытым вопрос о точном способе их образования. Признание важности ледникового антициклона в придании формы поверхности ледника и в осуществлении переноса снега из центральной части в окраинные участки привело к подчеркиванию относительной важности эрозии под краевыми и лопастными участками. Таким образом, важность ледяных пластов была значительно подчеркнута, хотя это относится только к формированию бассейнов и не имеет сколько-нибудь существенного отношения к затоплению нынешних вод. Нынешние Лаврентьевские озера обязаны своим существованием постепенному поднятию территории страны на север и восток с тех пор, как ледник покинул озерный регион. Когда фронт льда лежал к северу от реки Оттава, сток из верхних озер осуществлялся по каналу через реку и озеро Ниписсинг, а оттуда вниз по реке Оттава к заливу в нижнем течении реки Святого Лаврентия. Поднятие суши привело к возведению барьера там, где раньше был выход, и отводу воды в обходной канал через Детройт и озеро Эри (см. [Рис. 365](#), [стр. 335](#)).

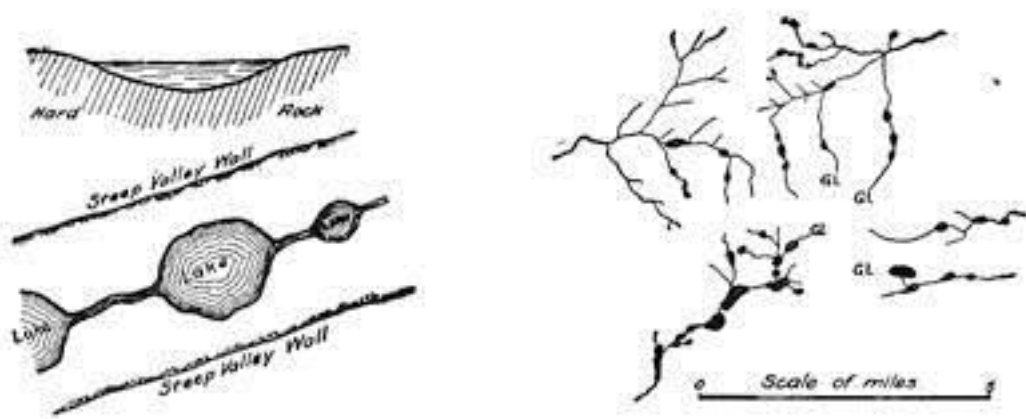


Рис. 447. Диаграммы, иллюстрирующие расположение и характер озер скалистых бассейнов, вместе с картой таких озер в горах Бигхорн в Вайоминге.

Озера в скалистой впадине. Обратные уклоны, которые образуются в долине, углубленной горными ледниками, — наклоненные назад ступени каскадной лестницы (см. [стр. 376](#)) — образуют серию впадин, выдолбленных в скале, которые нанизаны вдоль русла долины, как жемчужины на нить, или, что гораздо лучше, как крупные бусины в четках ([рис. 447](#)). Это характерное расположение объясняет название “Озера Патерностер”, которое иногда применялось к ним в Европе. Их расположение последовательно в U-образных горных долинах и скалистые берега с характерно сглаженными и бороздчатыми поверхностями облегчают их определение. В более высоких частях долины, где ступени каскадной лестницы относительно узкие, такие озера часто имеют приблизительно круглую форму, но на более низких уровнях и на более широких ступенях они могут иметь лентообразную форму, хотя озера этого типа в значительной степени заменены на более низких уровнях типом долинной морены или их комбинацией.



Рис. 448. Озеро Каторжник, озеро за моренной плотиной в покрытой льдом долине Сьерра—Невада, Калифорния (по фотографии Фэрбенкса).

Долинные моренные озера.—Впадающие морены, которые отмечают места остановки горных ледников, при спуске вверх по их долинам образуют запруды на более поздних реках и, таким образом, образуют тип озера, который контрастирует с моренными озерами, образовавшимися в результате континентального оледенения. Поэтому их можно отличить под названием *долинные моренные озера*. Их расположения на дне U-образной горной долины и ледниковых материалов, из которых состоят плотины, достаточно для их идентификации (рис. 448). Типичными примерами являются озера Морейн и Лейк-Луиз в Канадских Скалистых горах. Озера скальной впадины и долины морейн могут встречаться поочередно или комбинироваться в горных долинах.



Рис. 449. Озерные впадины, образовавшиеся в результате последовательных осыпаний с крутых стен покрытой ледником горной долины (по Расселу).

Оползневые озера. Долины с отвесными стенами, прорезанные горными ледниками, слишком круты, чтобы долго сохранять свою перпендикулярность после удаления опоры ледника. Благодаря вездесущим стыковым плоскостям, которые пропускают воду к породе, они поддаются воздействию мороза и в дальнейшем разрушаются при сходе лавин, когда порода состоит из достаточно пористого материала, чтобы пропитаться водой. Оползни иногда происходят последовательно до тех пор, пока первоначальная стена долины не будет заменена террасным склоном. Ступени на этой террасе обычно имеют обратный уклон, так что образуются впадины, которые заполняются относительно длинными и узкими озерами или чередой небольших бассейнов (рис. 449 и фото 23b).

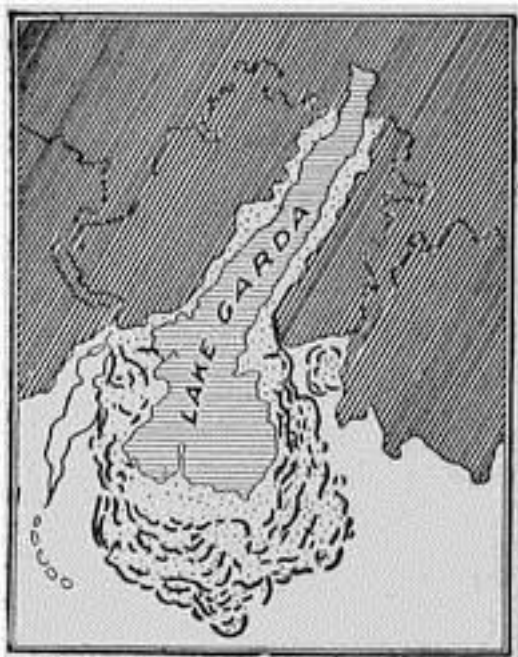


Рис. 450. — Озеро Гарда, пограничное озеро на месте предгорья пьемонта на окраине Альпийского нагорья (по Пенку и Брюкнеру).

Когда снесенный лавиной материал располагается так, что запруживает долину, возникают гораздо более крупные озера этого типа. Во время землетрясения, произошедшего 25 января 1348 года, в долине Гейл, Каринтия, произошел оползень, который уничтожил семнадцать деревень и образовал озеро, которое даже сегодня представляет собой огромное болото.

Пограничные озера. Всякий раз, когда горные ледники выталкивают свои фронты за границы горного хребта, который их питает, они распространяются по передней части широкими полосами, вокруг которых особенно интенсивны моренные скопления. Такое возвышение моренных стен по краям фартуков образует естественные бассейны, которые заполняются озерами, как только ледник отступает своим фронтом в долину. Поскольку такие озера находятся на границах горных районов, их называли *пограничными озерами*. Прекрасные озера Констанц, Люцерн, Маджоре, Лугано, Комо и Гарда (рис. 450) на границе Альпийского нагорья относятся к этому типу.

Табличка 23.



А. Вид Американского водопада на Ниагаре, показывающий скопление горных пород под ним (после Грабау).



Б. Кристал-лейк, оползневое озеро в колорадо.
(Фотография Хауленда Бэнкрофта.)

Озера Окс-боу.—При пересечении меандра в пойме реки образуется озеро, имеющее очертания подковы (бычьего лука) и обычно лежащее с низкими берегами на равнине, состоящей из речного ила. Перед отделением от материнского потока меандр начал заиливаться, особенно на концах. Озера Окс-боу, однако, относительно глубоки вблизи выпуклого берега и, соответственно, мелки ближе к вогнутому краю (рис. 451).

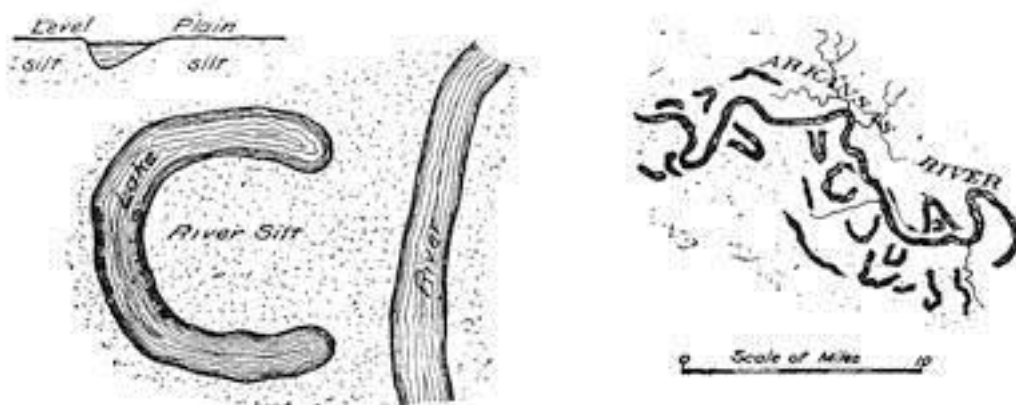


Рис. 451. Диаграммы, показывающие характеристики озер окс—боу, вместе с картой таких озер в пойме реки Арканзас.

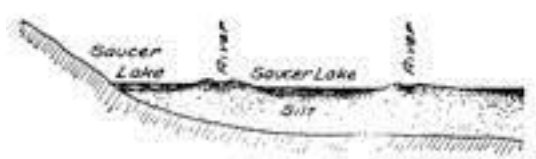


Рис. 452. Схематический разрез, иллюстрирующий образование блюдцеобразных бассейнов между дамбами ручьев, текущих по пойме.

Озера-блюдца.— Как мы узнали, река, извивающаяся в своей пойме, имеет берега, которые выше среднего уровня равнины, по той причине, что во время паводка основное течение ручья все еще сохраняется в русле, что позволяет сбрасывать осадочные породы в относительно слабую воду на ее берегу. Из-за этих естественных насыпей или дамб притоки часто вынуждены проходить большие расстояния в почти параллельном направлении, прежде чем образовать перекресток. Таким образом, между основным потоком и его притоками, также ограниченными дамбами, а также между ручьями и стенами долины, существуют низкие бассейны, имеющие более или менее форму блюдца (рис. 452). Во время наводнения, когда дамбы выходят из берегов или образуются трещины, вода поступает в эти углубления, и дополнительный запас может быть получен от стен долины. Хорошую иллюстрацию таких озер дает пойма бывшей реки Уоррен недалеко от берегов нынешней реки Миннесота (рис. 453).

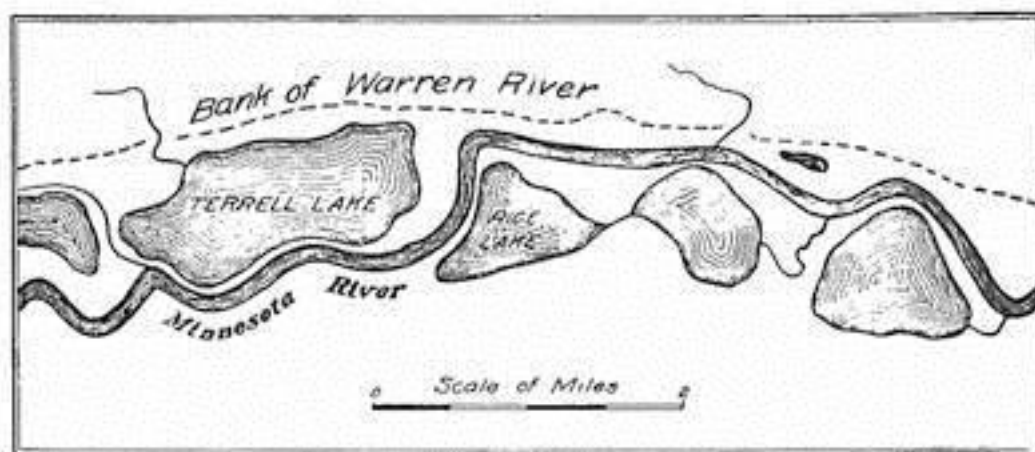


Рис. 453. Озера—блюдца на дне бывшей реки Уоррен (из газеты "Миннеаполис шит", США).

Озера с дамбами в форме полумесяца.—По мере приближения к дельте реки размер и важность дамбы увеличиваются, и здесь может последовательно образовываться новый тип дамбовых озер (Рис. 454). Во время наводнения дамба прорывается вблизи точки наибольшего изгиба на выпуклой стороне (рис. 454 а). Когда вода спадает, течение удерживается вдали от старого русла повышающимся уклоном дамбы, а также инерцией течения, и вход в старое русло сначала обнаруживается ниже следующего изменения кривизны меандра, поскольку здесь при прорезании дамбы эффективен промывочный материал. Таким образом, новый канал создается в виде петли, охватывающей старый, и в процессе строительства дамбы теперь возводится стена вокруг территории, недавно приобретенной меандром. Эта территория имеет форму полумесяца, и когда она занята водой, образуется серповидная дамба, озеро часто последовательно соединяется со своими соседями. Заброшенный канал, в настоящее время закрытый с обоих концов дамбами, может быть занят водой, образуя изогнутую траншею второстепенного ленточного типа (рис. 454 b, c).

Важность дамб, препятствующих дренажу с образованием озер, только начинает осознаваться. Совсем недавно было показано, что, когда магистральные ручьи сильно вздуваются и отягощаются наносами, стекая с отступающего континентального ледника, они могут создавать такие высокие дамбы, что увеличивают притоки выше мест слияния, даже создавая обратные уклоны и, таким образом, забирая воду с образованием обширных озер.

Во время “ледникового периода” озера такого типа образовались в реках Иллинойс и Кентукки чуть выше их впадения в Огайо. Старое дно озера с его восточной береговой линией и выступающими островами легко разглядеть на новых топографических картах Кентукки.



Рис. 454. Озера Дамбы развивались концентрически последовательно в пределах меандров ручья, впадающего в Миссисипи и текущего по равнине ее дельты. *b* и *c* являются примерами озера с дамбой ленточного типа из-за заселения заброшенного русла реки. Большое количество озер, примерами которых являются Сип-Лейк и Техасское озеро, имеют форму полумесяцев и расположены между заброшенными дамбами (на недавней карте США).

Сплаваться по озерам.—Во влажных регионах поймы наших крупных рек обычно покрыты лесами, и по мере того, как река в своих постоянных извилинах меняет направление из стороны в сторону, древесина, растущая на выпуклой стороне каждой извилины, постепенно

подтачивается рекой и валится на ее берегу. Поваленные деревья остаются на берегах во время отлива в летний сезон, чтобы быть собранными во время наводнения следующей весной. Образовавшиеся таким образом бревенчатые заторы, как правило, перекрывают главное русло реки и поворачивают течение через горловину меандра, когда возникают перерезы с образованием озер окс-боу. Когда масса древесины, собранной таким образом рекой, становится чрезмерной, как, например, в пойме Красной реки в Арканзасе и Луизиане, образуются огромные бревенчатые плоты, которые настолько эффективно запруживают реку, что образуются временные озера. Подтопленные воды вскоре находят выход через дамбу в каком-то месте выше по течению реки, и воды стекают по бревенчатому дну, другие бревна захватываются стоячей древесиной, как в плотине. Таким образом, образуется вторая плотина, отделенная от первоначальной открытой водой, и таким образом плотина из коряг приобретает огромные размеры по мере постепенного продвижения вверх по реке. По прошествии, возможно, столетия или более, нижние части пробки разлагаются и смещаются, так что их относит вниз по реке.



Рис. 455. Озера—плоты вдоль берегов Ред-Ривер в Арканзасе и Луизиане в момент их наиболее полного зарегистрированного развития (после А. К. Витча, США).

В нижнем течении Ред-Ривер огромная полоса заторов, чередующаяся с открытой водой, достигала в длину около ста шестидесяти миль и продвигалась вверх по реке со средней скоростью чуть меньше мили в год. В пределах плотины были перекрыты все притоки, так что вторичные озера образовали двойную кайму вокруг главной реки (рис. 455). Большой плот, образовавшийся здесь во второй половине пятнадцатого века, сейчас, в начале двадцатого, в значительной степени демонтирован, и были приняты меры для предотвращения его повторного образования.

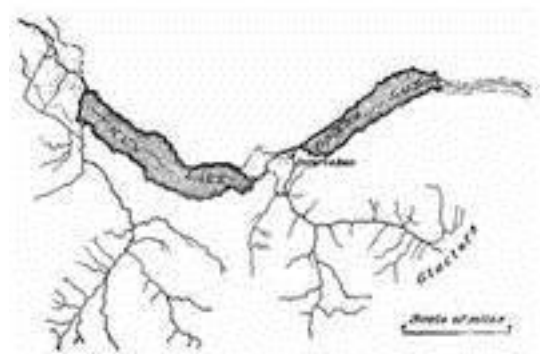


Рис. 456. Швейцарские озера Тун и Бриенц, образованные дельтами на стыке ручьев, впадающих в долину с крутыми стенами.

Озера в дельте Сиде.—Для речного стока характерно, что притоки впадают в главную долину по более крутым склонам, чем магистральный поток в месте слияния. Везде, где разница в скорости двух потоков на стыке велика, а боковой поток заполнен наносами, в устье притока образуется дельта. Такие дельты отходят от берега и могут в конечном итоге перекрыть основное русло, образуя более или менее колбасообразное расширение реки — озеро в боковой дельте. Озера Траверс и Биг-Стоун в долине реки Уоррен в Миннесоте образовались таким образом (рис. 354, стр. 326). Озера Тун и Бриенц в швейцарских Альпах имеют схожее происхождение, а прекрасный город Интерлакен был построен на дельтовой равнине над долиной более ранней реки (рис. 456). Миссисипи аналогичным образом расширилась, образовав озеро Пепин над дельтой в устье реки Чиппева.

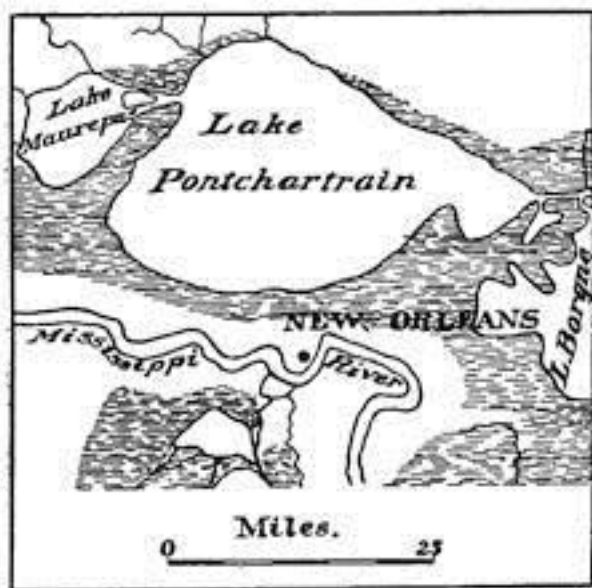


Рис. 457. Дельтовые озера, образовавшиеся в устье Миссисипи в результате соединения дамб расходящихся протоков с берегом эстуария (после Бергхауса).

Дельтовые озера.—Несколько иной тип дельтовых озер образовался в Луизиане, где “отец вод” впадает в персидский залив. Здесь различные ответвления расходятся от главного русла, образуя дельту типа “птичья лапа”, и выступы этой лапы, соединяясь с берегами, очерчивающими древний эстуарий, последовательно разделили ряд бассейнов, которые раньше имели прямое сообщение с морем (рис. 457). Озеро Поншартрен является крупнейшим из этой серии, в то время как так называемое озеро Борнье находится в процессе отделения.

Там, где крупные дельты выступают от берега в открытое море, дамбы, граничащие с отдельными участками распространения, подвергаются нападению волн, а их материалы переносятся береговыми течениями и возводятся в виде барьеров. Эти барьеры отсекают повторный вход между соседними водотоками, образуя лагуны или озера (рис. 458).

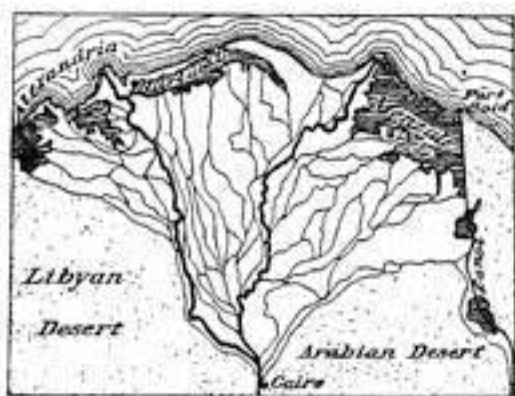


Рис. 458.— Тип дельтовых озер, образованных дамбами, частично разрушенными и встроеными в барьеры на окраине дельты Нила (после Супана).

Тип дельтового озера, который больше напоминает описанное выше озеро сайд-дельта, образовался в устье реки Колорадо, где она впадает в залив Нижней Калифорнии. Имперская долина, лежащая к северу от этой дельты, представляет собой высохшее дно более раннего залива Нижняя Калифорния, которое было захвачено из моря дельтой реки Колорадо. Горный вал, которым окружена эта долина, отрезал ее от любого источника воды, получаемого из облаков, и поскольку ее воды больше не пополняются из моря, регион прошел через период высыхания, в результате которого Солтон-Синк осталась единственным существующим остатком более ранней лагуны. Следует помнить, что неосторожные операции по отводу водотоков Колорадо недавно обратили этот процесс вспять, так что уровень воды в долине поднялся, и потребовались дорогостоящие экстренные операции, чтобы снова направить воды Колорадо в привычное русло.

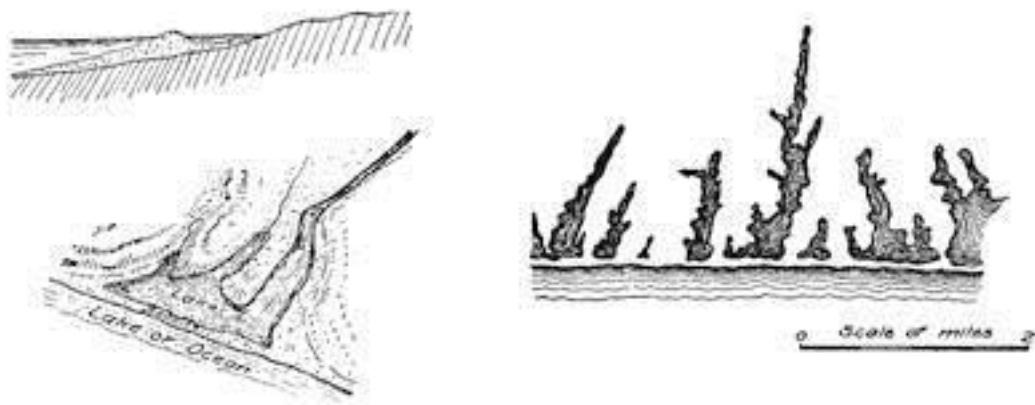


Рис. 459. Диаграммы, иллюстрирующие характеристики барьерных озер, на примере южного побережья острова Нантакет.

Барьерные озера.— Раковина Солтон иллюстрирует тип озера, которое образуется на границе моря в результате возведения своего рода барьера, который захватывает небольшой участок поверхности океана. Хотя такие озера можно правильно назвать береговыми озерами, обычно этот процесс становится эффективным в устье реки. Распространенный тип *барьерных озер* обнаружен на наиболее изрезанных береговых линиях, где береговые течения сформировали первые полосы, а затем барьеры в устьях эстуариев (рис. 459). Такие насыпи обычно имеют плавно изгибающуюся форму или полумесяц и состоят из песка или гальки, которые представляют собой крутой склон к суше и постепенный уклон к морю.

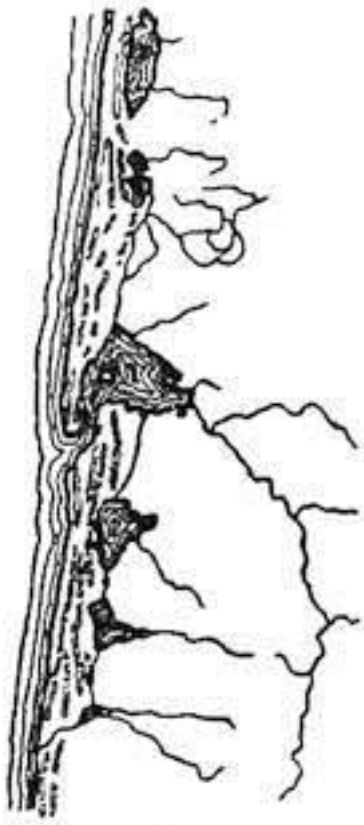


Рис. 460. Дюнные озера на побережье Франции (после Бергауза).

Дюнные озера.—На узких полосах берега, где вся мелкая почва, которая могла быть доступна для жизни растений, была смыта волнами, пляжный песок подвергается прямому действию ветров. Во время шторма песок поднимается и после дрейфа по ветру собирается в длинные гряды, параллельные берегу. Постоянно перемещаясь вдоль берега, эти дюны перекрывают устья рек и, таким образом, образуют серию озер, подобных тем, что показаны на [рис. 460](#).

Сточные озера.—Другой класс озер прямо или косвенно связан с работой подземных вод. В районах, которые подстилаются известняком, поверхностные воды, опускающиеся вдоль стыков известняка, могут расширять эти проходы через раствор породы, а на более низких уровнях протекать по дну каверн, выеденных тем же процессом на плоскостях залегания пласта. На пересечениях стыков более или менее круглые шахты, известные как “ласточкины лазы”, спускаются в пещеры с поверхности. Кроме того, в некоторых местах крыши пещер обваливаются, заваливая галереи щебнем, и на поверхности остается впадина неправильной формы, но, как правило, более или менее овальной формы. При достаточном засорении дна более мелкими обломками горных пород эти впадины заполняются небольшими озерами, которые известны как раковины и представляют собой один из лучших поверхностных признаков известняковой местности.

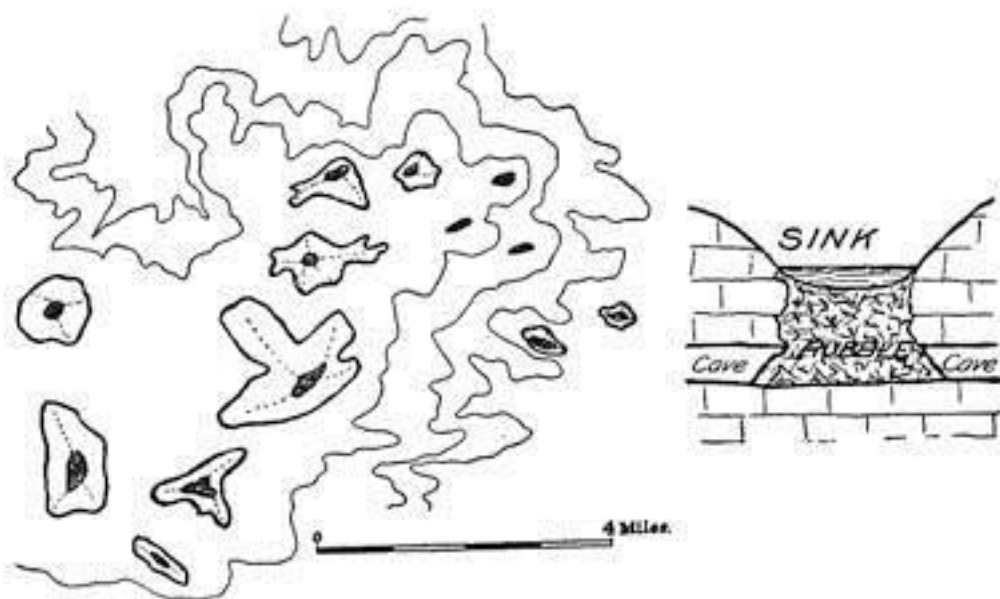


Рис. 461. Затонувшие озера во Флориде со схематической схемой, иллюстрирующей способ их образования (карта из США).

Карстовые озера—польен.—В известняковой стране к северу и востоку от Адриатического моря — так называемом карстовом регионе - есть много интересных особенностей, которые напрямую связаны с раствором скальной породы. Здесь все поверхностные воды опускаются в определенных районах по расширенным плоскостям стыков, так что дренаж в основном проходит под землей. Так называемые *долины* или раковины очень правильной и симметричной формы, напоминающие глубокие чаши, покрывают большую часть поверхности.

Более того, вся страна самым замысловатым образом разделена на множество рифтовых долин. Поскольку дренаж в значительной степени находится под землей, эти опущенные вниз блоки земной коры, так называемые *польены*, затопляются в определенные сезоны года, когда подземные ходы забиваются или становятся слишком маленькими, чтобы увести всю воду. Сезонным озером такого характера является озеро Циркниц ([стр. 189](#)).

Озера плайя.—Закон пустыни гласит, что засушливый регион окружен горами. Этот окружающий вал заставляет облака подниматься и, лишая их влаги, оставляет пустыню сухой и бесплодной. Те воды, которые попадают на внутреннюю окраину хребтов, стекают внутрь этой впадины, похожей на чашу, и не возвращаются в море — в пустыне нет выхода. Какими бы редкими они ни были, дожди в пустыне бывают типа ливневых дождей, и на холмах образуются потоки, воды которых, выходя на дно пустыни, образуют озера в течение нескольких минут или, самое большее, часов. В жаркой и сухой атмосфере вода из этих неглубоких бассейнов может быть поглощена в течение нескольких часов, но вновь появиться в тех же бассейнах во время следующего за этим ливня. Такие эфемерные озера известны как плейас.

Соленые воды.—Озера в пустыне, более богатые запасами воды, могут быть относительно долговечными и сохраняться в течение периодов, измеряемых годами или столетиями. Однако такие озера чрезвычайно чувствительны к климатическим изменениям (см. [стр. 198](#)).

По той причине, что у них нет выхода, воды пустынных озер становятся солеными из-за продолжающегося испарения. Поэтому о них говорят как о *солончаках*. Озеро Бонневиль,

пока оно сбрасывало свои воды через порог перевала Ред-Рок, должно было оставаться пресным; но когда уровень его вод опустился ниже этого места, его воды стали солеными, и содержание их увеличивалось по мере уменьшения объема.

Неглубокие впадины на дне пустынных озер могли возникнуть различными путями; но, по-видимому, наиболее важными, безусловно, являются неравномерный вынос почвы ветрами, обусловленный различиями в составе горных пород и ростом растений, а также отложение песка одним и тем же агентом. Многие из описанных типов тектонических и вулканических озер характерны как для влажных, так и для засушливых регионов.

Аллювиально-плотинные озера.—В горах на границе с пустыней аллювиальные отложения, которые образуются в устьях долин из-за характерных облачных осадков, иногда загораживают главную долину на стыке с ее притоками. В результате этого процесса воды главной реки затопляются, по существу, таким же образом, как и реки влажных регионов, в дельтах их притоков.

Résumé.—Типы озер, которые мы сейчас рассмотрели, представлены ниже в табличной форме, чтобы показать их связь с важными геологическими процессами. Этот список, хотя и неполный, включает наиболее важные классы, а также другие, которые, хотя и не являются распространенными, все же представляют интерес для дополнительной иллюстрации процессов, рассмотренных в предыдущих главах.

Уделяя пристальное внимание предложенным выше критериям, должно быть возможно, по крайней мере, в большем количестве случаев, определить, возникло ли какое-либо озеро, которое посещается, в результате того или иного из описанных процессов.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЕР

Тектонические озера -

Ньюленд озер
бассейна-ряд озер
рифтовой долины озера
землетрясения озера

материкового оледенения озера

моренных озер,
ямы озер
блеск или цолк озера
льдом озерами
ледникового озера лепесток

реки озера

старицы
старицы
серповидный дамбы озера
плот озер
стороны-дельтовые озера
дельтовые озера

грунтовые воды, озера,

раковина озера

вулканическими озерами

Кратер озера
зеленом районе озер

Горное оледенение озер

рок-котловины озер
долины моренными озерами
оползневые озера
границе озера

нитка озера

барьер озер
дюн, озер,

пустыни, озера

Плайя озера

Список литературы для чтения главы XXIX

Общие сведения:—

И. К. Рассел. Озера Северной Америки. Бостон, 1895, стр. 125, стр. 23.

А. П. Бригэм. Озера, Учеб. для учителей, Журн. геогр., т. 1, 1897, с. 65-72.

Н. М. Феннеман. Озера Юго-Восточного Висконсина, Вып. 8, Изд. Геол. и нац. История. Сборник, 1902 (Отв. ред., 1910), стр. 188, стр. 37.

А. Делебек. Les Lacs Français (with Atlas). Париж, 1898 год. (Работа, увенчанная Парижским геологическим обществом.)

Х. Р. Милл. Батиметрическая съемка озер Англии, География. Jour., vol. 6, 1895, pp. 46-73, 135-166.

А. Супан. Grundzüge der Physischen Erdkunde. Leipzig, 1896, pp. 531-548.

Х. Бергхаус. Atlas der Hydrographie. Гота, 1891, стр. 3.

Р. Д. Солсбери. Физиография. 1907, стр. 292-327.

Шарль Рабо. Revue de limnologie, La Géographie, Vol. 4, 1901, pp. 110-119, 172, 189.

И. К. Рассел. Геологическая разведка в Южном Орегоне, 4-я энн. Репт. Геол. США. Обзор., 1884, стр. 442-447. (Озера бассейна хребта.)

Изд. Зюсс. "Лицо Земли", т. 4, 1909, стр. 268-286. (Озера Рифтовой долины.)

Дж. С. Диллер. Кратерное озеро, Нац. Геогр. маг., том 8, 1897, стр. 33-48, стр. 1; Геология четырехугольника Лассен-Пик, Калифорния, Геол. фол. 15, США. Геол. Обзор., 1895. (Озера Куле.)

Н. М. Феннеман. Озера Юго-Восточного Висконсина, л.с., стр. 4-6. (Озера ямы.)

Ред. Зюсс. Лик Земли, т. 2, 1906, с. 340-346, стр. 7. (Глинт-лейкс.)

И. К. Рассел. Предварительный документ по геологии Каскадных гор в Северном Вашингтоне, 20-я энн. Rept. U. S. Geol. Фрагмент ii, 1900, стр. 14. (Вид на озеро в скальной впадине.)

Э. У. Шоу. Предварительное заявление относительно новой системы четвертичных озер в бассейне Миссисипи, журнал. Геол., 1911, стр. 481-491. (Новый тип озер-дамб.)

А. К. Витч. Образование и разрушение озер долины Красной реки, проф. Пап. № 46, Геол. США. Обзор, стр. 60-62, стр. 29-33. (Сплавные озера.)

М. Ноймейер. Erdgeschichte, vol. 1, pp. 595-596. (Poljen.)

ГЛАВА XXX

ЭФЕМЕРНОЕ СУЩЕСТВОВАНИЕ ОЗЕР

Озера как отстойники.— Из всех процессов, которые направлены на то, чтобы стереть озера, которыми усеяны наши северные ландшафты, наиболее важным в большинстве случаев является процесс заполнения отложениями, приносимыми притоками. Вынос наносов во взвешенном состоянии зависит, как мы знаем, от скорости течения, и поскольку это контролируется там, где оно достигает края озера, весь более крупный материал сразу осаждается, образуя дельту, в то время как более мелкие отложения дольше удерживаются во взвешенном состоянии и, наконец, оседают тонкими слоями по всему дну озера. Таким образом, глинистые отложения, окруженные более грубыми отложениями, характерны для заполненных озерных бассейнов.

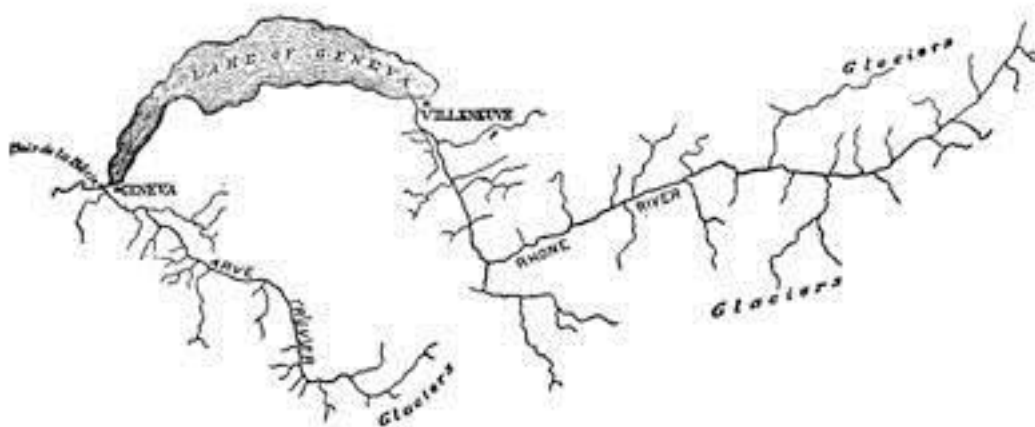


Рис. 462. Карта Арве и верхней Роны, показывающая важность Женевского озера как отстойника более крупного ручья.

На то, насколько очищаются воды при их прохождении через озеро, указывает сравнение речной системы, такой как река Святого Лаврентия, с такими реками, как Миссури и Миссисипи. Не только низовья реки Святого Лаврентия разительно контрастируют с мутными разливами Миссури и Миссисипи, но и дельта, которая является столь примечательной особенностью Миссисипи, не имеет аналогов в северной реке.

Однако наиболее примечательные примеры заселения представляют озера Швейцарии по той причине, что швейцарские реки в значительной степени заполнены каменной мукой, образующейся под многочисленными ледниками в верховьях долин, и, кроме того, потому, что эти реки с бурными течениями спускаются к границам более крупных озер. Полюбоваться мутными водами верхней Роны, где они впадают в Женевское озеро недалеко от Вильнева, а затем понаблюдать за потоком кристально чистой воды, который вытекает из озера и проходит под мостом в Женеве, - наглядный урок, который не должен пропустить ни один путешествующий студент (рис. 462). Но еще более поучительным будет посещение *лесного массива Бати* на пересечении этого прозрачного ручья с Арве, всего в получасе ходьбы ниже Женевы. Воды Арве берут начало на крутом спуске прямо с ледников района Монблан, и, встречаясь с чистыми водами Роны, они текут рядом с ними по общей долине, не смешиваясь. Тусклые и непрозрачные воды Арве можно различить на большом расстоянии в

виде белого пояса на левом берегу реки, резко выделяющегося на фоне синей отражающей поверхности вод Роны (рис. 463). На берегах Арве, чуть выше ее слияния, было основано цементное производство для использования глин, которые здесь залегают.

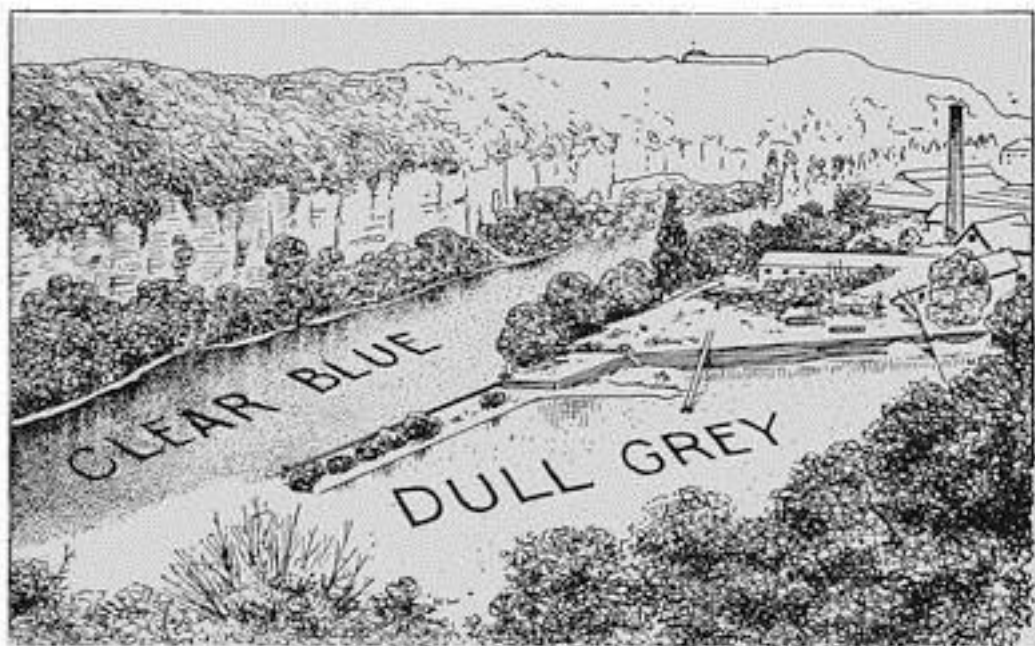


Рис. 463.—Вид, открывающийся вверх по течению через непрозрачные воды Арве к прозрачной отражающей поверхности Роны. Справа за Арве виден цементный завод по извлечению донных отложений Арве.

Везде, где озера расположены в длинных и узких долинах, большая часть стока притоков поступает в верхний конец, и дельта, которая там образуется, простирается от берега к берегу. По мере того, как вода продолжает впадать в озеро, более ранний водный бассейн постепенно превращается в ровную равнину дельтового отложения, особенность настолько распространенную, что заслуживает особого названия. Шотландские озера, которые являются озерами этого типа, каждое из них простирается на более длинной или более короткой дельтовой равнине, описываемой как *страт*, и этому местному термину вполне может быть дано общее применение (фронτισпис). Город Итака, резиденция Корнельского университета, построен на холме в верховьях озера Каюга, и бесчисленные шотландские и швейцарские деревушки были расположены на таких плодородных равнинах (рис. 464).



Рис. 464. Деревня Поскьяво в восточной Швейцарии, построенная на возвышенности у истоков озера Поскьяво.

Отвод воды в результате эрозии стока.—Следующим по важности после заполнения озерных бассейнов фактором их раннего исчезновения является перекрытие каналов стока. Всякий раз, когда стенки выпускного отверстия вырублены в горной породе, этот процесс осушения, как правило, происходит медленно по той причине, что выпускной поток состоит из отфильтрованной воды и поэтому не имеет необходимых режущих инструментов. Однако гораздо большее количество озер сдерживается плотинами из рыхлых дрейфующих отложений, заложенных более ранними континентальными ледниками; и поэтому сама прозрачность воды способствует эрозии выходного отверстия, позволяя поднимать всю тяжесть наносов ручья, а затем удалять их из русла.

Втягивание мысов и отсечение заливов.Удаление выступающих мысов под действием волн, хотя и увеличивает площадь озера, в то же время напрямую уменьшает объем озерной воды за счет образования застроенной террасы и косвенно, в гораздо большей степени, за счет преобразования заливов в тихие лагуны, в пределах которых запускается процесс тушения роста торфа.

Исчезновение озер из-за роста торфа.—Первое условие для роста озерной растительности - спокойная вода. В пределах небольших озер, таких как котловины чайника на моренах, быстро развивается водная растительность, и торфяные болота можно было бы отнести к числу наиболее важных отличительных признаков страны, покрытой ледником. В более крупных озерах этот процесс вымирания озер из-за роста торфа может стать эффективным только после того, как через устья заливов будут перекинута барьерные пляжи, образующие естественные волнорезы для волн.

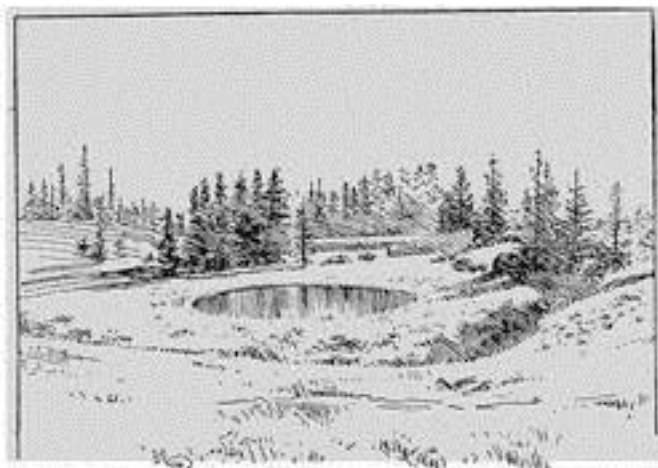


Рис. 465. Вид плавающего болота и окружающих зон растительности в небольшом ледниковом озере Йеллоустонского национального парка (по фотографии Фэрбенкса).

До сих пор существует много ошибочных представлений относительно первостепенной важности сфагнома в формировании торфа из-за специфических местных условий, в которых проводились ранние исследования. В покрытых льдом районах Соединенных Штатов образование торфа включает последовательный рост ряда зон растительности и образование плавучего болота, которое вдаётся в озеро с берегов, за которым, в свою очередь, следуют пояса низких кустарников, тамараков и, наконец, лиственных деревьев (рис. 465).

В большинстве случаев первыми растениями, которые развиваются в тихом озере, являются водяные лилии, хотя иногда им предшествуют чара и плавающий пузырник. Следующими за кувшинками идут осоки, которые образуют плавучий болотный коврик из-за своих травянистых стеблей, погружающихся в воду и переплетающихся там с корневищами внизу. Этот слой осоки часто бывает настолько плотным, что скот может продвигаться по нему к кромке воды, но он отделен слоем воды от слоя растущего торфа на дне озера (рис. 466). Этот слой торфа, по-видимому, поднимается вверх к поверхности и соединяется с береговым окончанием плавучего болота гниющей растительностью, которая выпадает со дна мата выше.

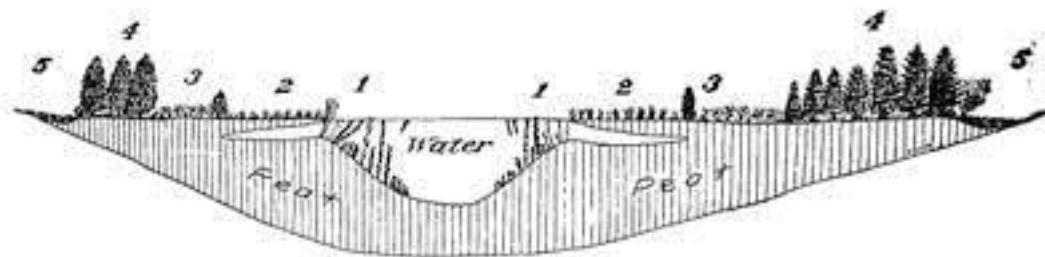


Рис. 466. Схема, показывающая, как небольшие озера превращаются в торфяные болота (по К. А. Дэвису).

За плавучим болотом по порядку следуют высокоразвитые растения группы хвойных, со сфагнумом и низким кустарником здесь, на торфяной почве, простирающейся до дна озера. За поясом кустарников растут тамараки и ели, и, наконец, ближе к берегу растут лиственные деревья, особенно тополя, клены и краевые ивы. На краю бассейна обычно имеется низкая впадина, или “ров”, заполняемый водой во время сезонов дождей, в результате, без

сомнения, сезонного прилива, который не достигает остаточного озера по направлению к центру бассейна.

Исчезновение озер в пустынных регионах.—В засушливых регионах существуют особые причины исчезновения озер. Таким образом, вдувание песка и пыли, переносимых по воздуху на большие расстояния, что ни в коем случае не является незначительным фактором даже во влажных регионах, приобретает здесь большое значение. Однако обнажившиеся в настоящее время бассейны исчезнувших пустынных озер свидетельствуют о еще большем факторе вымирания - изменении климата. Облака, которые в свое время попали в дренажный бассейн озера, позже могут быть отрезаны из-за подъема горного барьера, и поэтому при уменьшении подачи воды начинается период высыхания озера. Когда в ходе этого процесса высыхания уровень озера опускается ниже уровня выходного отверстия, содержание соли в воде начинает увеличиваться, и позже достигается стадия, как в Большом Соленом озере, когда соли натрия выпадают в осадок. Когда озеро вымерло, эти отложения остались как свидетельство изменившихся климатических условий.

Роль озер в природном хозяйстве.—Естественно, рассматривая вопрос о вымирании озер, уделить некоторое внимание той роли, которую они играют в природопользовании. Уже было замечено, что озера фильтруют воду рек и предотвращают образование важных отложений в дельтах. Любопытным исключением из этого общего правила является большая дельта в верховьях озера Сент-Клер, чуть ниже выхода из озера Гурон. Эта аномалия, однако, объясняется особыми течениями озера Гурон, которые направлены так, что уносят песок с пляжа в быстрое течение выходного отверстия, после чего он оседает в спокойных водах озера Сент-Клер (рис. 467).

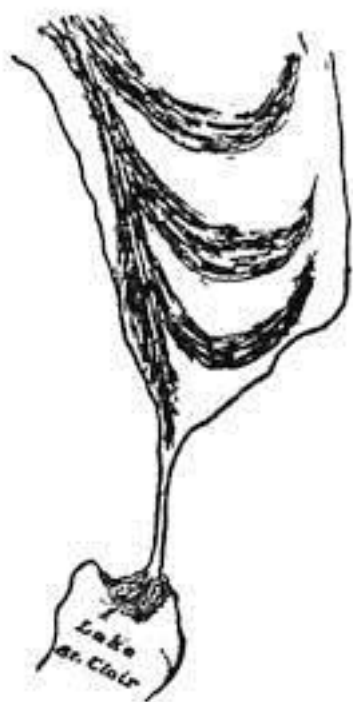


Рис. 467.— Карта, показывающая аномальное положение дельты озера Сент-Клер из-за специфических течений в озере Гурон (по картам Коула).

Являясь регуляторами стока рек, озера выполняют важную функцию. Такие катастрофические наводнения, характерные для весеннего сезона в бассейне нижней Миссисипи, не могли произойти в низовьях реки Святого Лаврентия по той причине, что

большие бассейны озер служат распределяющими водохранилищами. Ежегодные наводнения, от которых зависит сельское хозяйство Египта, объясняются тем, что паводковые воды с высоких гор Абиссинии впадают в Нил *ниже* озер его верхнего бассейна.

Еще в одном отношении крупные внутренние водоемы выполняют важную регулирующую функцию. Это свойство воды - медленно реагировать на изменения количества тепла, которое достигает поверхности земли от солнца. Для изменения его температуры на один градус необходимо добавить или отвести от водоема большее количество тепла, чем потребовалось бы для аналогичного изменения той же массы земли или горных пород. Таким образом, водоемы, медленнее усваивая летнее тепло, задерживают наступление весны, а за счет накопления этой энергии и переноса ее на осень продлевается теплый сезон и предотвращаются ранние заморозки. Таким образом, фруктовые пояса в низовьях Великих озер зависят от этого регулирующего свойства озерных вод. Таким образом, дискомфорт от долгой весенней сырой погоды компенсируется необычайно благоприятным сезоном сбора урожая.

Ледяные валы на берегах озер.— Небольшие гряды, известные как ледяные валы, образуются на берегах озер под действием озерного льда, хотя и подвержены такому количеству условий, что диапазон их возникновения несколько ограничен. В районах, где зимой образуется ледяной покров некоторой толщины, берега озер склонны представлять собой гряды валов, расположенных параллельно кромке воды и вблизи нее, и такие озера иногда стали известны как “пристенные озера” (рис. 468).



Рис. 468. Стена—боулдер на берегу небольшого озера в Адирондаках, штат Нью-Йорк.

Во многих случаях эти небольшие гряды образовались во время весеннего "раскола" льда, поскольку ледяной покров, однажды разрыхленный, большими плотами дрейфует сначала к одному берегу, а позже, при изменении направления ветра, к другому. Под воздействием таких тяжелых плотов полузатопленные лодки у берега выталкиваются вверх по пляжу до тех пор, пока не упрутся в гребень или стенку лодки.

В других случаях такие стенки котловины, а также гораздо более интересные гребни возникают в результате своеобразного толчка льда, не зависящего от ветра, но вызванного расширением самого льда во время внезапного повышения температуры окружающего воздуха. Такие ледяные валы требуют для своего объяснения рассмотрения последовательности событий с того момента, как ледяной покров закрыл озера.

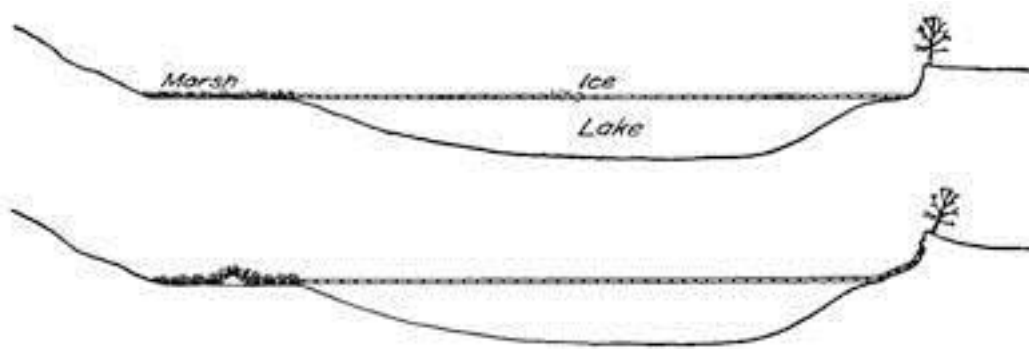


Рис. 469. Диаграммы, показывающие влияние толчков льда на образование ледяных валов на берегах озер (по Бакли с небольшими изменениями).

В большинстве случаев первый озерный лед ранней зимы образуется при температуре воздуха всего на несколько градусов ниже точки замерзания воды. Когда позже приходит сильная “волна холода”, ледяной покров сжимается и становится слишком маленьким для поверхности озера. В результате этого сжатия оно уступает и открывает трещины, по которым поднимается вода, и при преобладающей низкой температуре эта вода быстро замерзает, и озерный покров снова становится сплошным. Фигуристы знакомы с открытием этих трещин и громким “ревом”, который сопровождает их холодным утром, острые полозья коньков иногда оставляют трещины в напряженном льду, как и легкая царапина на стекле, которое находится в таком же напряженном состоянии.





Рис. 470. Различные формы ледяных валов (после Бакли).

Первоначальный ледяной покров озера, который сформировался при температурах, близких к нулю, теперь получил несколько вставленных клиньев нового льда в то время, когда его сократившийся объем сделал это возможным. Если теперь “теплая волна” сменит “холодную волну” в воздухе, ледяной покров расширится со скоростью, соответствующей скорости его сжатия, так что на берег будет оказываться сильное давление (рис. 469). Скользя вверх по наклонной поверхности вырубленной и застроенной террасы, сила этого толчка может быть направлена вверх, к утесу, и, если это сыпучие материалы, результатом может быть врезание валунов в берег, поднятие валов или гребней, опрокидывание деревьев и т.д. (Рис. 470). В болотистой местности замерзший поверхностный слой может скользить по своему незамерзшему основанию и вытягиваться вверх в виде ломаных складок (нижняя схема на рис. 469 и 470).

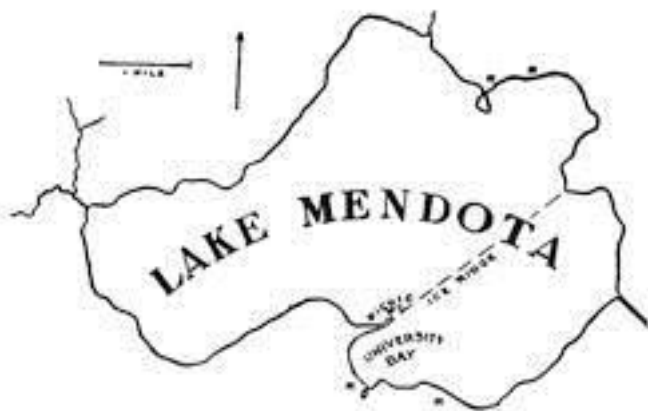


Рис. 471. Карта озера Мендота в Мэдисоне, штат Висконсин, с указанием положения хребта, который образуется в результате расширения льда, и ледяных валов по берегам заливов (на основе карты Бакли).

Для образования ледяных валов необходимо, чтобы зимний климат района был суровым и характеризовался чередованием холодных и теплых волн, при этом температура воздуха значительно колебалась ниже точки замерзания. Если озеро небольшое, то продвижение льда будет происходить на столь малое расстояние, что не образуется заметных валов. С другой стороны, если озеро слишком большое, ледяной покров недостаточно тверд, чтобы передать толчок на дальний берег, но, подобно длинной балке, используемой таким же образом для передачи сжимающего напряжения, он отклоняется от прямой линии и позже ломается. Таким образом, в широком озере с приходом “теплой волны” ледяной покров

раскрывается в трещине от берега к берегу и снимает напряжение, поднимая гребень над трещиной. На таких озерах ледяные валы встречаются только по берегам заливов, протяженность которых не превышает мили (рис. 471).

Во время сильных снегопадов ледяные валы либо не образуются, либо имеют меньшие размеры, вероятно, отчасти потому, что лед покрыт снегом и, таким образом, предотвращается внезапное повышение температуры во время “теплой волны”, но в еще большей степени потому, что ледяной покров ощутимо прогибается под своей нагрузкой и, таким образом, становится неспособным передавать возникшее напряжение на берега.

Список литературы для чтения к главе XXX

Исчезновение озер из-за роста торфа:

К. А. Дэвис. Торф, Очерки о его происхождении, использовании и распространении в Мичигане, Энн. Представитель. Mich. Геол. Обзор за 1906, 1907 гг., стр. 105-182; Торфяные залежи как геологические записи, 10-е издание. Mich. Акад. наук., 1908, с. 107-112.

Г. П. Бернс. Изучение болот. Энн-Арбор, 1906, стр. 13.

Ледяные валы:

Ч. Х. Хичкок. Береговые валы в Вермонте, профессор, доц. Адв. наука., том 13, 1869, стр. 335-337.

Г. К. Гилберт. Озеро Бонневиль, понедельник. 1, Геология США. Обзор., 1890, стр. 71-72.

Э. Р. Бакли. Ледяные валы, пер. Исх. Акад. наук и др., т. 13, 1900, с. 141-162, стр. 1-18.

Уильям Х. Хоббс. Необходимые условия для образования ледяных валов, журнал. Геол., т. 19, 1911, с. 157-160.

ГЛАВА XXXI

ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ФОРМЫ ГОР

Определенная гора.—В обычном понимании горы - это возвышенности на поверхности земли, которые возвышаются над общим уровнем страны. Их вершины не обязательно должны находиться на большой высоте над уровнем моря, но важно, чтобы они возвышались над средним уровнем окружающей местности по крайней мере на четверть мили. Более низкие возвышенности называются холмами. С другой стороны, высота плато, подобного “Высоким равнинам” на западе Соединенных Штатов, может достигать мили, но огромное пространство почти ровной поверхности исключает использование термина “гора”. Таким образом, это слово применяется к какой-либо особенности земли, а не просто к возвышенному участку.

В собирательном смысле, хотя чаще во множественном числе, этот термин должным образом применяется к группам сходных объектов, которые имеют общее происхождение в локальном поднятии суши. Таким образом, происхождение гор, используемых в этом смысле

для обозначения горных комплексов, связано с некоторым по существу локальным поднятием земной поверхности. Это может происходить в результате процессов складчатости и смещения надземных разломов, вулканических экстравазаций или выбросов, или в результате более глубокого и, по существу, гидростатического поднятия пластов горных пород над расплавленным горным материалом.

Существующие *формы* гор, как мы увидим, в значительной степени сформированы эрозионными процессами, которые запускаются самим подъемом, хотя часто завершаются задолго до него.

Гирлянды горных дуг.— С самого раннего изучения школьной географии мы познакомились с расположением наиболее важных гор в виде длинных цепей или систем. Сравнительно немногие люди уделяли какое-либо дальнейшее внимание расположению цепей, хотя на больших площадях земной поверхности распределение горных хребтов имеет огромное значение. Карта Азии, в частности, представляет собой серию больших изогнутых дуг или полумесяцев, которые сгруппированы так, как будто они нанесены на карту в виде гирлянд с узлами или вершинами, разделяющих соседние группы ([рис. 474](#), [с. 438](#), и [рис. 472](#)).



Рис. 472. — Великая горная дуга Сьюестан, Британская Индия (в честь де Сен-Мартена и Шрейдера).

Значение этих горных группировок в эволюции земной поверхности было указано великим венским геологом Зюссом, которому мы обязаны тем, что он уделил плану земли такое внимание, которое раньше в основном уделялось подготовке гипотетических разрезов пластов, которые были в значительной степени скрыты от глаз под поверхностью земли. Вообще говоря, можно сказать, что горные дуги сгруппированы вокруг тех щитов из более древних горных пород, которые, как показали геологические исследования, являются древнейшими массивами суши на земном шаре. В северном полушарии эти первоначальные континенты представлены областями кристаллических пород, сосредоточенными над Гудзоновым заливом, Балтийским морем и областью на северо-востоке Сибири, известной геологам как Земля Ангары. В нашем исследовании фигуры Земли (глава II) было обнаружено, что эти щиты представляют собой усеченные углы округлой четырехгранной формы, к которой стремится планета ([рис. 3](#), [стр. 12](#)).

Теории происхождения горных дуг.— При детальном изучении обнаруживается, что горные дуги состоят из плотно сложенных слоев горных пород, изгибы которых обычно настолько наклонены, что их осевые плоскости наклоняются к центру дуги (рис. 473). По мнению Зюсс, эти дуги следует объяснять выталкиванием слоев породы наружу от центра дуги к ее периферии, что вызывает сморщивание поверхностных слоев и перекрытие окружающих образований, которые, согласно этой гипотезе, оказывали большее сопротивление скользящему движению. Сгибание слоев из-за скольжения естественно влечет за собой очень значительное уменьшение площади поверхности, представленной слоями (рис. 22, стр. 42). В случае альпийских цепей было подсчитано, что плоская территория шириной от четырехсот до восьмисот миль в результате процесса складчатости сократилась до ширины всего около ста миль, или с четвертой до восьмой части ее прежней ширины.

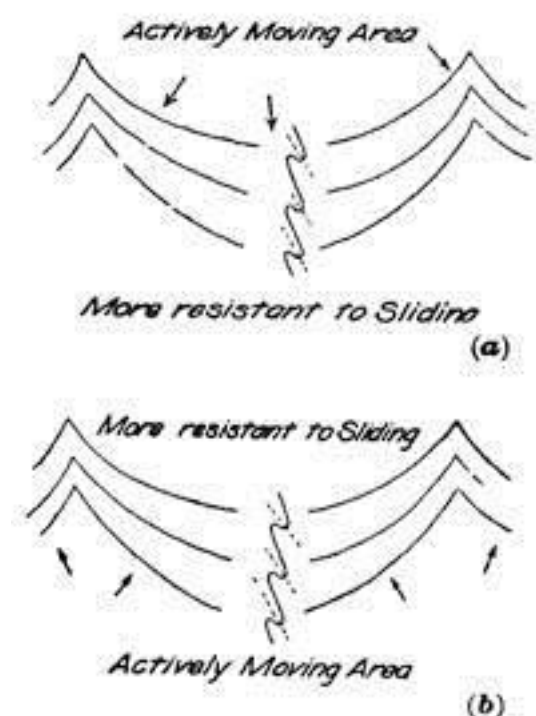


Рис. 473.—а, диаграмма, иллюстрирующая теорию Зюсса о происхождении горных дуг; б, авторская модификация этого представления.

Слабость теории профессора Зюсс заключается в том факте, что такое сжатие, как оно подразумевает, предполагается из-за *движения наружу* относительно небольшой области внешней оболочки Земли, которая включена в дугу. Должно быть очевидно, что такое движение от центра сразу в три стороны для этой ограниченной области повлекло бы за собой огромное пропорциональное уменьшение площади поверхности слоев и могло бы привести только к разрыву вблизи центра дуги. Такого разрыва обнаружено не было, и, более того, его было бы трудно объяснить с помощью какой-либо правдоподобной гипотезы. С другой стороны, общее сжатие планеты в целом, включающее в себя уменьшение поверхности на больших площадях, является хорошо признанным фактом; и если верно, что щиты, образованные более старыми континентами, менее подвержены сжатию, чем остальные участки поверхности, легко понять, почему внешняя оболочка земли должна быть сморщенной из-за *складчатости* и надвигания вокруг этих континентальных окраин. Противоположность этой точки зрения профессору Зюссу выражена в диаграммах на [рис. 473](#).

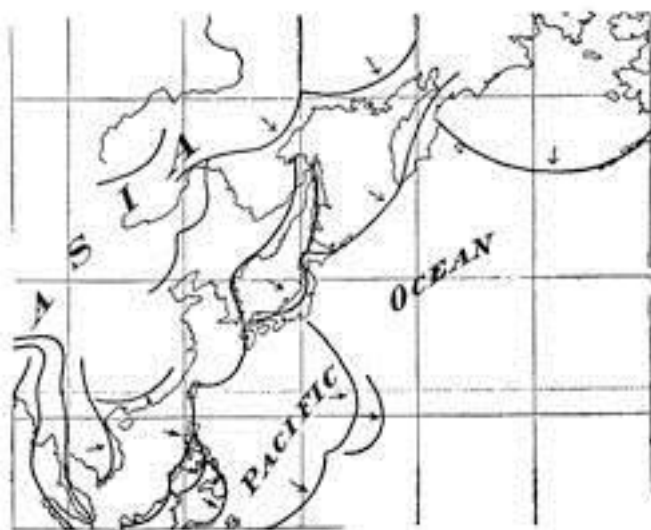


Рис. 474.—Фестоны горных дуг на границах Тихого океана—Тихоокеанский тип побережья (по данным Зюсс).

Мы можем проиллюстрировать эту концепцию растянутым листом резиновой ткани, такими, какие обычно используют стоматологи, на который нанесен тонкий слой горячего канадского бальзама. Это вещество застывает при охлаждении до температуры, близкой к нормальной, и если охладить небольшой локальный участок слоя бальзама и затем ослабить натяжение резины, вязкий бальзам незаполненной части слоя образует складки вокруг охлажденных и более устойчивых участков. Таким образом, эти более устойчивые участки слоя могут представлять собой древние континентальные щиты нашей планеты.

Атлантическое и тихоокеанское побережья контрастировали. В своих исследованиях горных дуг в их отношении к плану земли профессор Зюсс показал, как расположение горных цепей вокруг двух больших океанов представляет два сильно контрастирующих типа. В то время как на тихоокеанской окраине горные дуги как бы нанизаны гирляндами, которые тянутся параллельно побережью и выпуклы к нему, или же лежат в виде окаймляющих гирлянд островов в том же положении (рис. 474); горные цепи вокруг Атлантики резко обрываются по мере приближения к побережью и, таким образом, указывают на то, что бассейн этого океана образовался в результате впадины между большими краевыми смещениями в какой-то период, последовавший за образованием гор.

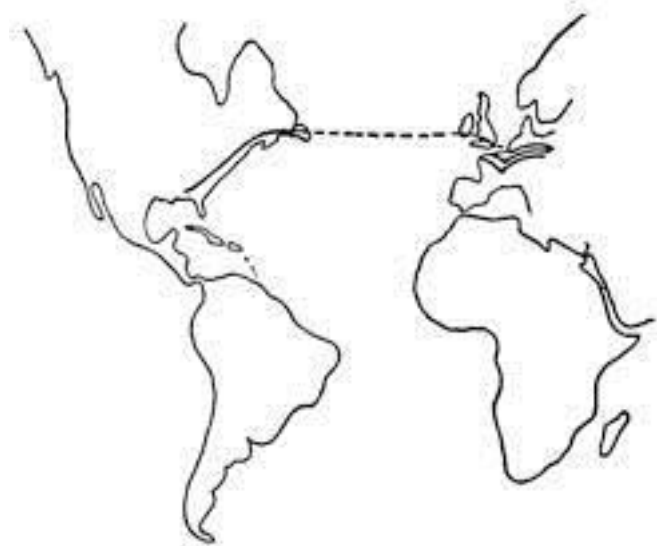


Рис. 475. Прерывистая система Армориканских гор, общая для западной Европы и востока Северной Америки (после Arltdt).

Таким образом, горные складки Аппалачской системы на Ньюфаундленде резко обрываются у береговой линии, и те же пласты, столь же усеченные, снова встречаются по всему пространству океана в складках у побережья Западной Европы (рис. 475). По прерывистым остаткам эту древнюю горную цепь можно проследить в восточном и западном направлении через западную и центральную Европу. Таким образом, здесь мы имеем дело с единой горной системой, простирающейся от центральной Европы до северной Алабамы, из которой была извлечена важная связь в результате последующего погружения бассейна Атлантического океана.

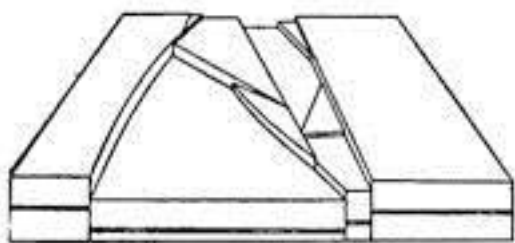


Рис. 476. Схематическое изображение “зоны разнообразного смещения” в Большом бассейне на западе Соединенных Штатов (по Пауэллу).

Блочный тип горы. Включение большинства возвышенностей в горные цепи и дуги является одним из наиболее очевидных фактов для любого, кто изучал атласы мира с учетом этого предмета. Такие цепи почти неизменно состоят из складчатых горных пород, что указывает на то, что эрозия снесла большие перекрывающиеся массы пластов, поскольку сжатие земной коры привело к образованию складок на значительных глубинах ниже тогдашней поверхности.

Однако на поверхности земли есть большие возвышенные участки, которые пересекаются глубокими долинами, но где невозможно обнаружить никакого расположения возвышенных частей внутри цепей или хребтов. В таких случаях распределение гор и долин может напоминать мозаику нарушенных участков, расположенных на разных уровнях (рис. 476).

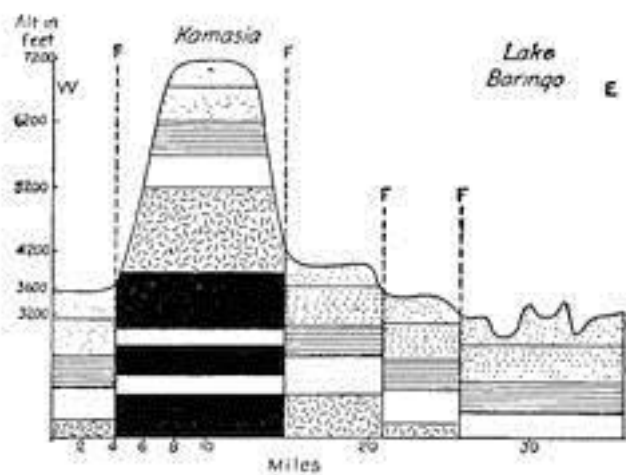


Рис. 477. — Разрез восточноафриканской блоковой горы (по Дж. У. Грегори).

Такие массивные горные районы можно найти во многих частях земной поверхности, но особенно в пределах Большого бассейна на западе Соединенных Штатов и в районе суши, который граничит с Индийским океаном на западе и северо-западе. В отличие от горных дуг, столь ярким примером которых является Азиатский континент в целом, его крайняя юго-западная часть состоит из чередования плато и рифтовой долины, отделенных друг от друга большими смещениями. Несмотря на некоторое изменение в результате эрозии, возвышенности, по-видимому, в целом представляют собой смещенные блоки земной коры, которые при взаимном регулировании остались на самых высоких уровнях (рис. 477). Долина Иордана с возвышающимися над ней ливанскими горами находится недалеко от северной оконечности этого разломного горного региона (рис. 434, стр. 404), в то время как Великая Рифтовая долина, пересекающая восточную часть Центральной Африки, и множество соседних разломов на востоке и западе имеют линии такой глубины, что наблюдатель с соседней планеты, возможно, смог бы их обнаружить.

Не обязательно во всех случаях предполагать, что горы блоков поврежденного района представляют собой блоки, которые при корректировках были оставлены самыми высокими. Эрозия с течением времени совершает чудеса трансформации, и это может привести к тому, что тяжелые массы более стойких пород в конечном итоге выступят наиболее высоко, даже если они могут представлять собой опустившиеся блоки в мозаике разломов (Рис. 43, стр. 60).

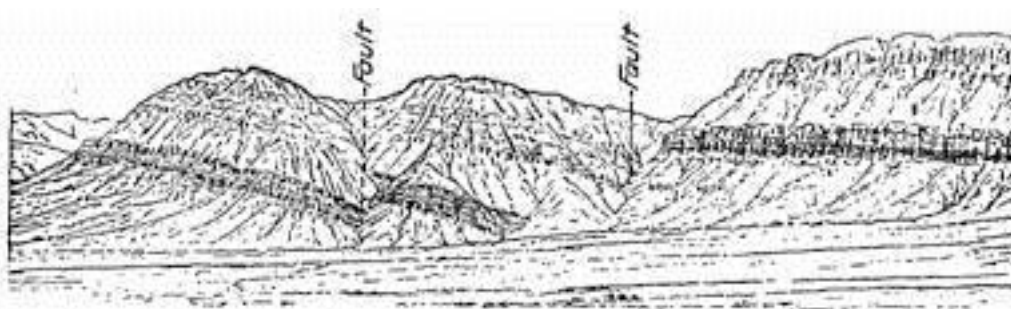


Рис. 478. Наклонные блоки земной коры в долине Квинтоуип.

Там, где в дополнение к изменению уровня были наклонены земляные блоки, развиваются особенности, которые уже давно описаны в нашем западном внутреннем бассейне как “Структура хребта бассейна”. Здесь верхняя поверхность потревоженных земляных блоков обнаруживает определенный наклон в каком-то одном направлении (рис. 478 и рис. 431, стр. 402).

Горы оттока или подъема.— Важный тип гор, обычно описываемый как вулканический, может возникать либо из-за излияния лавы на поверхности земли, либо из-за скопления отдельных фрагментов лавы, сначала выброшенных в воздух, а затем отложившихся под действием силы тяжести или смешанных с водой в виде вулканической грязи. Такие горы, как до, так и после изменения в результате эрозии, принимают поразительно характерные формы, которые полностью обсуждались в главах IX и X. Доминирующими типами являются лавовый купол и пуй, шлаковый конус и более сложный составной конус. За исключением только поверхности, образованной несколькими крупными трещинными извержениями, и полувулканического типа мезы, отдельные горы вулканического происхождения имеют особенности с заметно округлыми основаниями.

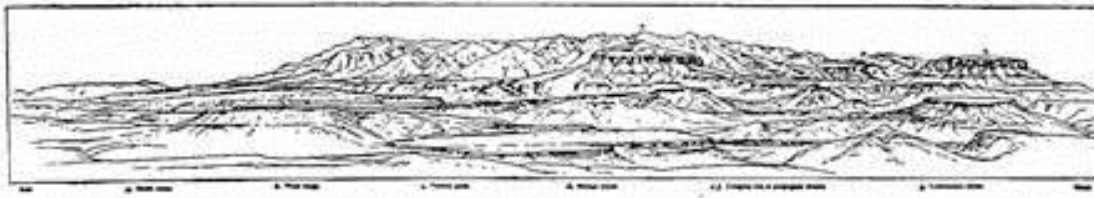


Рис. 479. Рисунок У. Х. Холмса, выполненный пером лакколита горы Карризо, на котором показаны неровная поверхность ядра магматической породы и наклонные поверхности, которые все еще остаются от кровли осадочных пород (после пересечения).

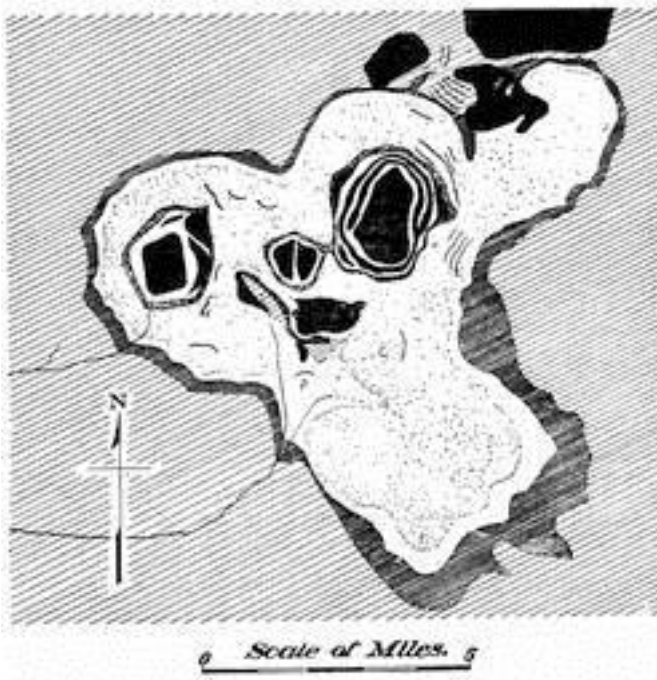


Рис. 480.—Карта лакколитовых гор. Часть гор Джудит, Монтана. Интрузивная магматическая порода показана черным цветом (после Вида).

Куполообразные горы поднятия—лакколиты.—В значительном количестве широко отстоящих друг от друга местностей на поверхности земли встречаются горные районы, центральные области или ядра которых сложены интрузивными магматическими породами, такими как гранит, и вокруг этого ядра отложения уходят вниз во всех направлениях, как будто они когда-то образовывали над ним сплошную крышу и были вытеснены в этот купол гидростатическим давлением некогда вязкого материала внизу (рис. 152, стр. 143, и рис. 479 и 480). Примеры таких куполообразных возвышенностей были впервые описаны Гилбертом из гор Генри в штате Юта, но примеры представлены многими возвышенными участками, особенно на западе Соединенных Штатов. Такие горы известны как *лакколиты*, но когда по крайней мере один край магматического ядра соответствует смещению, гора описывается как *бисмалит* (рис. 481).

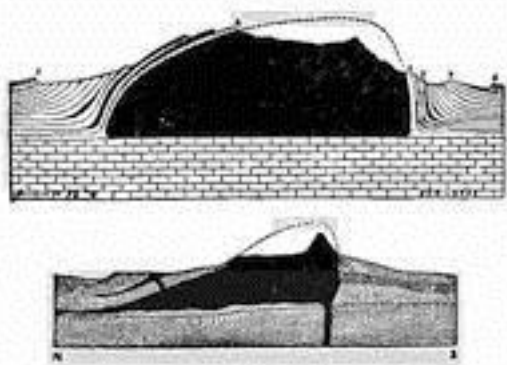


Рис. 481. Идеальные разрезы лакколита и бисмалита.

Подвергаясь длительной эрозии, обычно трещиноватое гранитное ядро лакколита выветривается совершенно иным образом, чем слоистые отложения, которые окружают его и все еще частично возвышаются над ним. Первые обычно имеют более или менее неровную поверхность, которая резко контрастирует с пологими столами последних ([рис. 479](#)). Вокруг высокого гранитного ядра горы несколько слоев наклонных образований представляют собой каждый крутой склон, ведущий к этой возвышенности, и более пологий склон в противоположном направлении. Такие несимметричные хребты, окружающие горный район, часто называют “свиными хребтами” ([фото 12b](#)). Расположение слоев в спинках боров, таким образом, представляет собой ряд перекрытий, подобный черепице на крыше, за исключением того, что перекрытие здесь происходит снизу, а не сверху, и открытые концы, таким образом, обращены к гребню. В отличие от черепичной крыши, свинарники не сбрасывают воду, которая стекает к ним с более высоких уровней, а, наоборот, заставляют ее стекать по желобам, параллельным основанию склона, за исключением тех мест, где через них находятся выходы.

Горы, вырезанные из плато.—В рассмотренных до сих пор типах гор местное поднятие суши само по себе развило черты, которые в совокупности могут быть отнесены к горам, даже несмотря на то, что характер первоначальной поверхности вскоре разрушается эрозионными процессами того или иного рода. Эрозионные процессы, однако, вполне способны создавать горные формы на безликом плато, и особенно через надрезы потоками проточной воды, наиболее изученный процесс горной скульптуры (см. [Главы XI-XIII](#)). Этот процесс образования долин вокруг возвышенного участка земной поверхности и, таким образом, образования гор, иногда описывается как *обход*; и если термин “гора” применять в его обычном смысле для описания индивидуальной особенности, становится ясно, что большинство гор сформировалось именно таким образом.

Обсудить характерные формы таких гор означало бы в значительной степени ознакомиться с содержанием этой книги, и особенно с теми частями, в которых обсуждаются профили персонажей, возникающие в результате действия каждого скульптора или формирующего агента. Работа мороза и других факторов атмосферного воздействия, проточной воды, горных и континентальных ледников - все это необходимо было бы учитывать, чтобы развить историю каждой горы.

В дополнение к обнаружению агентов, которые были в основном ответственны за формирование горы, мы можем, кроме того, во многих случаях определить, на какой стадии работы одного агента сменился другой и, по крайней мере, на какой стадии полного цикла деятельности сейчас работает последний агент.

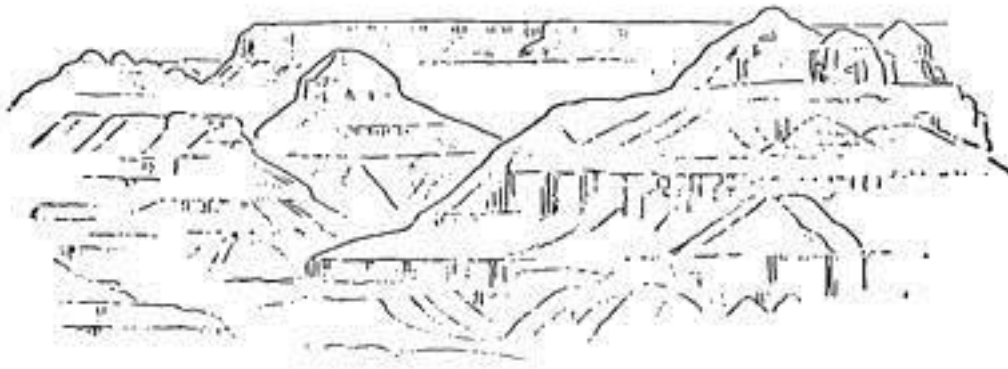


Рис. 482. Остроконечный фасад, столь широко развитый в пустынных пейзажах и резко контрастирующий с повторяющимися изгибами ландшафтов влажных районов (с картины Морана "Гранд—Каньон в Колорадо").

Климатические условия горной скульптуры.—Поскольку различные геологические службы работают либо по-разному, либо с разной интенсивностью в зависимости от меняющихся климатических условий, горы засушливых регионов в большинстве случаев можно легко отличить от гор более пригодных для жизни влажных районов страны. В общих чертах эти различия можно суммировать в большей распространенности изогнутой линии в ландшафтах влажных районов. Это может быть в значительной степени объяснено влиянием растительного покрова, который защищает поверхность породы от более быстрого механического разрушения и останавливает скользящие движения внутри уже разрыхленных обломков породы. Вместо перевернутых изгибов красивых линий, которые обычно наблюдаются в ландшафтах хорошо орошаемых регионов, пустынные земли представляют собой повторение вертикального утеса, чередующегося с своего рода остроконечным фасадом, который иногда возникает из-за того, что горные отроги срезаны волнами бывших озер, но гораздо чаще очертания конусов обломков образуются под каждым выступающим стыком стен утеса (рис. 482).

Эффект стойкого слоя.—Поразительным образом горные ландшафты могут раскрывать влияние разнообразных горных материалов, а также скальных структур. После длительной эрозии, вероятно, будет мало общего между расположением антиклинальных складок и гребнями более высоких гор. На самом деле такие горы с гораздо большей вероятностью поднимаются над синклиналями, чем на месте антиклиналей. Путешественник, въезжающий в Альпы по любой из нескольких железных дорог или путешествующий на пароходе по прекрасному Люцернскому озеру, имеет самую благоприятную возможность изучить расположение скальных складок на горных участках, которые последовательно разворачиваются перед ним. На самом деле, он редко найдет определенную антиклиналь, соответствующую горному пику, поскольку наиболее устойчивые слои образовали пики, и именно потому, что внешние слои антиклиналей открываются в результате локального растяжения (см. Рис. 26, стр. 45), они были сначала срезаны эрозией, так что твердые слои внутри синклиналей, вероятно, образуют пики в пределах существующей поверхности.



Рис. 483. Мифен, состоящий из юрских и меловых отложений и покоящийся на более мягких третичных образованиях. Вид с воздушного шара (по фотографии К. Шмидта).

Когда, как это иногда случается, более древний и, следовательно, более устойчивый слой был откинут на более молодые и мягкие формации, можно обнаружить изолированный остаток, “не вырванный с корнем” до своего основания, на котором он как бы плавает в волнующемся море более мягких формаций (рис. 483).

След разлома в разрушенных горах.—Применение термина “гора” в его собирательном значении для обозначения ограниченной области поднятой земной коры, представленной сегодня складчатым или разломным комплексом, лавовой массой или гранитным куполом; период подъема ознаменовал начало деятельности скульптурных агентств. С их помощью масса урезается по мере придания ей формы более или менее сложной конструкции из составных и, по существу, повторяющихся единиц. В просторечии слово “гора” применяется к этим единицам, на которые подразделяется большая горная масса.



Рис. 484.Зубчатый тип эрозионных гор. Древний Циннен (Три зубчатые стены) в Доломитовых Альпах (по Марру).

Одной из главных целей этой работы было указать на то, что своеобразные формы этих элементарных гор характерны для эрозионных агентов, которые их породили, и что каждая поверхность имеет отметки, которые могут быть распознаны по тем линиям профиля, которые повторяются в ландшафте, — характерные профили. При разделении более крупного массива — *генетической* горы — с образованием множества меньших массивов — *эрозионных* или *циркумвалляционных* гор — обнаруживается схема разломов, которая направляла эрозионные агенты при их операциях по удалению (см. Главу XVII). На больших высотах, где воздействие мороза на более широкие трещины настолько сильно, что оно проявляется в виде прямоугольных башен или зубчатых стен (рис. 484).

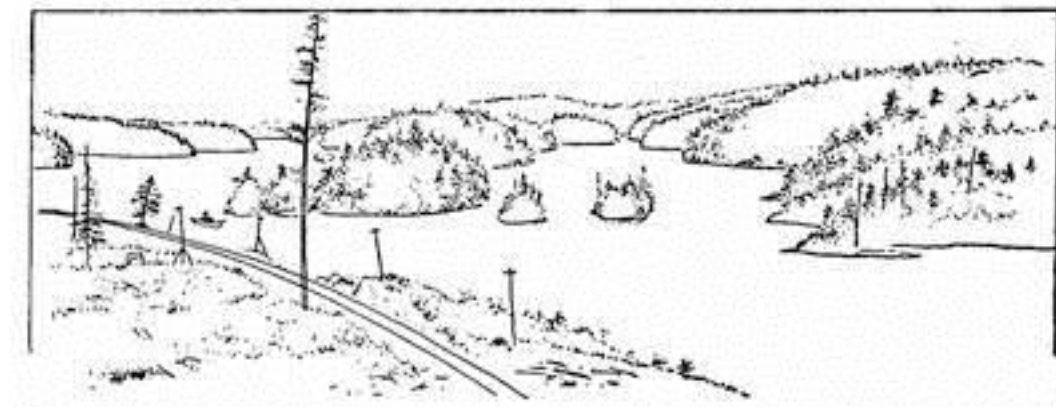


Рис. 485.— Симметрично сформированные низкие острова, повторяющиеся рядами на озере Темагами, Онтарио.

В других примерах, в которых скульптурная поверхность в значительной степени является делом рук одного эрозионного агента, например, на обширных территориях в дикой местности Канады, раскрытие структуры трещин не менее очевидно. Здесь ряд кристаллических пород залегает на обширных пространствах территории и не имеет заметных изменений твердости и почти лишен поверхностных обломков. Изваянные под покровом ледяного покрова, раскопки, естественно, были сосредоточены над более широко изяющимися трещинами системы совместных разломов, несомненно, уже отмеченными в речной сети, которую преодолел ледник. Результатом стало разделение поверхности на ряд низких овальных гребней или торосов, которые на обширных территориях повторяются с монотонной регулярностью. Везде, где нижние уровни были затоплены, симметричные низкие острова почти одинаковой высоты поднимаются из водного пространства, и их можно насчитать тысячами. Хотя меньшие острова имеют заметно правильные береговые линии, более крупные выделяют свой состав из более мелких единиц, разбивая свои берега на аналогичные заливы, расположенные через равные промежутки времени (рис. 485 и рис. 243 и 245, стр. 229).

Постоянно повторяющаяся структура разломов земной коры не ограничивается горными массивами, которые она расколола и единство которых она так старательно скрывала. Она простирается далеко за пределы этих масс и фактически является общей для целых континентов и, возможно, даже для планеты в целом. Роль, которую сыграла эта конструкция изломов в управлении скульптурой пейзажей, было бы трудно переоценить. Под его влиянием яркие детали, сформованные одним средством, были объединены в контрастные формы, разработанные другим. Это великолепный контурный блендер для создания природных шедевров формы и цвета. Таким образом, линии этой таинственной сети разломов, хотя и нанесены неизгладимыми знаками на наши пейзажи, обычно теряются в эффекте ансамбля и могут долго оставаться неоткрытыми. Подобно поросшей мхом надписи на мраморной плите, хотя и скрытой, она все же может быть расшифрована; и если снять завесу, рунические символы станут видны, и один из законов природы откроется перед нами.

Список литературы для чтения к главе XXXI

Горные дуги или гирлянды:—

Изд. Зюсс. "Лицо Земли", т. 2, 1906, с. 201-207; т. 4, 1909, с. 498-542.

Блокирующие горы:—

Г. К. Гилберт. Исследования к западу от 100-го меридиана (Уилер), том 3, Геология, Вашингтон, 1875, Ч. 1, стр. 19 и далее., 48.

Дж. У. Пауэлл. Отчет о геологии восточной части гор Уинта и прилегающего к ней региона Страны, Геология США. и Геогр. Обзор. Тер., II Раздел. Вашингтон, 1876, стр. 218.

Джон У. Грегори. Великая Рифтовая долина. Лондон, 1896, стр. 422.

Лакколиты и бисмалиты:—

Г. К. Гилберт. Отчет о геологии гор Генри, Геология США. и Геогр. Обзор, 1877, с. 18-98.

Уитмен-Кросс. Лакколитовые горные группы Колорадо, Юты и Аризоны, 14-я энн. Репт. Геол. США. Обзор, 1895, стр. 157-241, стр. 7-16.

У. Х. Вид и Л. В. Пирссон. Геология и минеральные ресурсы гор Джудит в Монтане, 18-я энн. Респ. Геол. США. Обзор, Часть iii, 1898, стр. 485-556, стр. 75.

У. Х. Уид. Геология гор Литтл-Белт, Монтана и др., 20-я энн. Респ. Геол. США. Обзор, Часть iii, 1900, стр. 387-400.

Vera de Derwies. Recherches géologiques et pétrographiques sur les loccolithes des environs de Piatigorsk (Caucase du Nord). Женева, 1905, стр. 84, стр. 3.

Р. А. Дейли. Механика магматического вторжения, Ам. Журнал науки. (4), т. 15, 1903, с. 269-278; т. 16, 1903, с. 107-126.

Джозеф Баррелл. Геология горнорудного округа Мэрисвилл, Монтана. Изучение магматической интрузии и контактного метаморфизма. Проф. Пап. 57, геол. США. Обзор, 1907, с. 151-178.

Климатические условия по отношению к наземной скульптуре:—

К. Э. Даттон. Третичная история района Гранд-Каньон, понедельник. 2, Геология США. Обзор., 1882, стр. 264, стр. 42.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

БЫСТРОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕННЫХ МИНЕРАЛОВ

Прежде чем кто-либо сможет получить представление о горных породах или архитектуре их расположения в пределах земной коры, весьма важно получить некоторое представление о внешнем виде и свойствах наиболее распространенных минералов, и особенно тех, которые входят в качестве основных компонентов в более распространенные горные породы. Чтобы быть компетентным минералогом, необходимо обладать довольно обширными знаниями как в области неорганической химии, так и в науке кристаллографии, изучение которой, каким бы увлекательным оно ни было, требует некоторых технических знаний в области математики и большого лабораторного опыта. Это специальное исследование, хотя и необходимо любому, кто намеревается сделать карьеру геолога, не является обязательным для такого культурного курса, как нынешний. Здесь будет предпринята попытка свести воедино совокупность фактов, на основе изучения которых студент может быстро научиться распознавать самые распространенные минералы в их обычных разновидностях. Тесты, которые он должен применить, в основном физические, и вместо подробного обсуждения симметрии кристаллов могут быть предоставлены только фотографии.

Новичку трудно осмысленно читать обычный учебник минералогии по той причине, что для каждого вида минералов он представляет перед ним каталог каждого физического свойства в свою очередь, с небольшим указанием тех данных, которые в каждом отдельном случае имеют особую диагностическую ценность. Тем не менее, однако, изучающему рекомендуется рассмотреть несколько свойств каждого минерала в определенном порядке,

и следующие могут служить так же хорошо, как и любые другие: кристаллическая или иная форма, спайность, излом, блеск, цвет, прожилки, прозрачность, прочность, намагниченность и удельный вес. Пытаясь связать конкретные значения этих свойств с отдельными видами минералов, не следует забывать о химическом составе и способе залегания. Студенту полезно иметь при себе небольшую карманную линзу и перочинный нож, лезвие которого намагничено.

Кристаллическая форма.— Некоторые виды минералов обычно встречаются в более или менее определенных кристаллах — ограничены определенными плоскими поверхностями, образовавшимися при образовании минерала; другие - группами мешающих кристаллов или агрегатов, и в этом случае минерал называется кристаллическим; в то время как третьи вообще редко встречаются кристаллизированными. Таким образом, в данном случае кристаллическая форма может быть, а может и не быть, важна для диагностики вещества. Если какой-либо минеральный вид обычно встречается в кристаллах, учащийся должен знать об этом факте и, по возможности, иметь мысленное представление об обычной форме кристалла или очертаниях. Без обширных знаний кристаллографии это должно быть предоставлено ему в виде чертежей. Поскольку кристаллы большинства видов склонны к искажению из-за того факта, что некоторые плоскости в пределах одной группы проявляются на кристалле с большей выраженностью, чем другие, удобно помнить, что обозначения, такие как линии или гравюры на гранях кристалла, одинаковы во всей одной и той же группе плоскостей, и на текстовых рисунках такие группы плоскостей обозначаются с помощью обычной буквы. Для кристаллических агрегатов такие термины, как волокнистый, излучающийся, массивный или гранулированный, имеют свои обычные значения.

Декольте.—Для большинства кристаллов характерно, что они ломаются или *расщепляются* в определенных направлениях, оставляя плоские или почти плоские поверхности, а блеск сколотой поверхности измеряет совершенство свойства расщепления. Важно всегда отмечать, сколько таких направлений расщепления присутствует и, по крайней мере, приблизительно, под какими углами они пересекаются — перпендикулярны ли они друг другу или наклонены под каким-то другим углом. Далее, следует отметить, является ли данное расщепление *совершенным*, то есть легким, на что будет указывать тонкость пластин, которые могут быть закреплены. Чрезвычайно совершенной спайностью обладает минеральная слюда, пластины которой тоньше самой тонкой бумаги. В случае несовершенного или прерывистого расщепления поверхности разлома не являются плоскими на всем протяжении, а прерываются, поверхность “перепрыгивает” из одной плоскости в соседнюю параллельную. Особенно важно отметить, имеют ли в случае нескольких сколов, которыми обладает кристалл, все они одинаковую степень совершенства или же они проявляют различия.

Трещиноватость.—В минералах со слабо развитой спайностью поверхность трещиноватости описывается как *трещиноватость*. Перелом, таким образом, совершенен в пропорции, поскольку расщепление несовершенно. Перелом описывается как конхоидаальный, когда на нем видны волнистые сферические поверхности, похожие на битое стекло. Для мелких заполнителей трещиноватость описывается как ровная, неровная, землистая и т.д. Названия, которые в целом понятны.

Блеск.— Этот термин применяется, в частности, к способу отражения света от минеральных поверхностей. Наиболее важное различие проводится между теми минералами, которые имеют *металлический* блеск, и теми, которые им не обладают, причем первые всегда непрозрачны. Другими характерными блесками являются адамантиновый (похожий на промасленное стекло), стекловидный (стекловидный), смолистый, восковой и т.д.

Цвет.—Для минералов, обладающих металлическим блеском, цвет всегда практически одинаков, и, следовательно, он становится ценным диагностическим свойством. У минералов, обладающих неметаллическим блеском, цвет может быть всегда одинаковым и, следовательно, характерным, но в случае многих минералов он колеблется в широких пределах и иногда охватывает почти всю гамму оттенков, при этом без заметных изменений в химическом составе минерала.

Полоса.— Этот термин применяется к цвету минерального порошка и обычно является довольно постоянным, даже когда цвет поверхности разных образцов может варьироваться в широких пределах. В случае с довольно мягкими минералами прожилку лучше всего исследовать, сделав отметку на куске неглазурованного фарфора (прожилочный камень).

Прозрачность (диафанитность).—Термины “прозрачный”, “полупрозрачный”, “полупрозрачный” и “непрозрачный” используются для описания степени уменьшения проницаемости для световых лучей. Через прозрачные тела печать может быть прочитана, в то время как полупрозрачные тела позволяют свету проходить через них в значительном количестве, хотя и без передачи изображения объектов.

Прочность.—Этот всеобъемлющий термин включает такие свойства, как хрупкость, гибкость, эластичность, пластичность и т.д.

Твердость.— Существуют довольно ошибочные представления о значении этого очень распространенного слова, которое должным образом подразумевает стойкость к истиранию. Это одно из наиболее ценных свойств для быстрого определения минералов, поскольку минералы варьируются, с одной стороны, от алмаза - самого твердого вещества — до талька и графита, которые настолько мягкие, что их можно глубоко поцарапать ногтем большого пальца. Для практических целей достаточно использовать приблизительную шкалу твердости, составленную из обычных или хорошо известных минералов. Если мы исключим драгоценные минералы, эта шкала должна включать всего семь чисел, а именно: тальк, 1; гипс, 2; кальцит, 3; плавиковый шпат, 4; апатит, 5; полевой шпат, 6; и кварц, 7. Данный минерал мягче минерала в шкале, когда он может быть заметно поцарапан чешуйчатым минералом, но не оставит царапины при обратных условиях. Если каждый будет царапать другого с одинаковой готовностью, то два минерала будут иметь одинаковую твердость.

Поскольку часто бывает желательно проверять твердость минералов, когда под рукой нет весов, можно использовать следующие заменители: 1, жирный на ощупь и легко царапается ногтем большого пальца; 2, оставляет царапину на ногтях большого пальца, но гораздо менее легко; 3, царапается медной монетой и очень легко карманным ножом; 4, без труда царапается ножом; 5, с трудом царапается ножом, но легко оконным стеклом; 6, царапается оконным стеклом; 7, легко царапается оконным стеклом, но вместо него можно использовать песчинку. обозначьте кварц на шкале.

Магнетизм.—Хотя почти все минералы, содержащие значительные количества элементов железа, кобальта или никеля, могут притягиваться сильным электромагнитом, есть только два распространенных минерала, и они сильно различаются по внешнему виду, порошок которых поднимается обычным магнитом. Другие, однако, поднимаются после сильного нагрева на воздухе (*воспламенение*), и это ценный тест.

Удельный вес.—Приблизительные испытания относительного веса или удельного веса можно провести, подняв образцы небольшого размера в руке. Для более точного определения требуется использование пружинных весов.

Обработка кислотой.— Карбонатные минералы вступают в реакцию с теплой и разбавленной минеральной кислотой, создавая эффект кипения (шипение), поскольку при этом углекислый газ выделяется в воздух.

СВОЙСТВА РАСПРОСТРАНЕННЫХ МИНЕРАЛОВ

Наиболее важные распространенные минералы делятся на два класса в зависимости от того, имеют ли они большое экономическое значение в качестве руд или важным образом входят в состав горных пород.

I. Полезные ископаемые, имеющие экономическое значение

Гематит.— Полуокись железа, Fe_2O_3 , и, безусловно, самая важная железная руда. Редко в виде хороших кристаллов, но иногда в виде тонких непрозрачных чешуек, имеющих некоторое сходство со слюдой и известных как слюдянистая или зеркальная железная руда. В других случаях в конкрециях, образованных радиальными иглами (игольчатая руда); в твердых массах, смешанных с мелкими зернами кварца (твердый гематит); или в мягкой красновато-коричневой земле (мягкий гематит). Цвет от черного до вишнево-красного. Минеральная пудра всегда вишнево-красного или красновато-коричневого цвета и легко поднимается магнитом после воспламенения. Твердость 5,5-6,5; удельный вес 5.

Магнетит.— Магнитный оксид железа, Fe_3O_4 , часто в кристаллах, подобных [рис. 486](#), ¹⁻². Черный и непрозрачный с металлическим блеском. Черный с прожилками. Поднимается магнитом и иногда сам по себе способен поднимать опилки мягкого железа (магниевый магнит). Твердость 5,5-6,5. Удельный вес 5.

Лимонит.— Самая распространенная и ценная из гидратированных железных руд, $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Химический состав такой же, как у железной ржавчины, с которой в землистом виде она идентична. Никогда в виде кристаллов, но часто в виде мамонтовых или округлых подвесок, напоминающих сосульки, а иногда и виноградные гроздья. Его желтая полоса (ржавчина) является лучшим диагностическим свойством. При воспламенении он выделяет воду и становится магнитным. Прожилка и заметно более низкий удельный вес отличают его от некоторых форм гематита, на которые он внешне похож. Твердость 5-5,5. Удельный вес 3,6-4.

Пирит, железный колчедан, или “золото дураков”.— сульфид железа, FeS_2 . Наиболее широко распространенный сульфидный минерал, а в настоящее время главный источник мощного химического реагента - серной кислоты или купороса. Часто, но не всегда, в кристаллах ([рис. 486](#), ³⁻⁵), которые имеют своеобразные бороздки на своих гранях. В других случаях минерал встречается массивным или в виде лучистых игл. Яркий металлический блеск с цветом новой латуни, хотя часто потускневший или измененный на поверхности до лимонита. Твердый и хрупкий, и поэтому отличается от золота, которое мягкое и податливое и имеет цвет более светлой старой латуни (в которой содержался больший процент цинка). Золото, кроме того, примерно в четыре раза тяжелее пирита. Твердость 6-6,5. Удельный вес 5.

Халькопирит, медный колчедан.— Смешанный сульфид меди и железа. Если в кристаллах, как на [рис. 486](#), ⁶; в остальном массивные или компактные. Блеск металлический. Цвет оранжево-желтый, часто с локальными синими и зелеными переливами, похожими на голубиное горлышко. Отличается от пирита более глубоким цветом и меньшей твердостью, а от золота, в частности, хрупкостью и меньшим удельным весом. Твердость 3,5-4. Удельный вес 4.

Галенит, galenite.—Сульфид свинца, PbS. Основная руда свинца, а также, из-за примеси серебряного минерала, серебра. Обычно встречается в кристаллах (рис. 486, ⁷). Всегда раскалывается на блоки, ограниченные шестью идеально ровными прямоугольными гранями, которые при свежем раскалывании приобретают яркий серебристый блеск и быстро тускнеют, приобретая характерный “свинцовый” оттенок. Очень тяжелый. Цвет и прожилки свинцово-серые. Твердость 2.5. Удельный вес 7.5.

Сфалерит, цинковая обманка.— сульфид цинка, ZnS, обычно со значительной примесью сульфида железа. Великая цинковая руда. Нередко в виде кристаллов (рис. 486, ⁸⁻⁹), но чаще в виде расщепляемых кристаллических агрегатов. Расщепление в мелких агрегатах иногда трудно различить, но в крупнозернистых массах оно одинаково и очень совершенное в шести различных направлениях, так что иногда может быть выделена симметричная двенадцатигранная форма (додекаэдр). Блеск, как у канифоли (rosin jack), хотя при большой примеси железа цвет может приближаться к черному (black jack). Более светлые сорта полупрозрачны. Твердость 3,5-4. Удельный вес 4.

Малахит.— Гидратированный (основной) карбонат меди. Зеленая медная руда и обычный продукт изменения поверхности других минералов меди. Обычно имеет микроскопическую структуру, состоящую из тонких игольчатых кристаллов, но, как правило, массивных, различной имитирующей формы, мало чем отличающихся от железных руд. Иногда землистого цвета. Его цвет ярко-зеленый, и он обычно встречается в сочетании с другими характерными медными рудами, такими как халькопирит и азурит. В относительно чистом виде и в больших массах это красивый поделочный камень. Шипучий с кислотой. Твердость 3,5-4. Удельный вес 4.

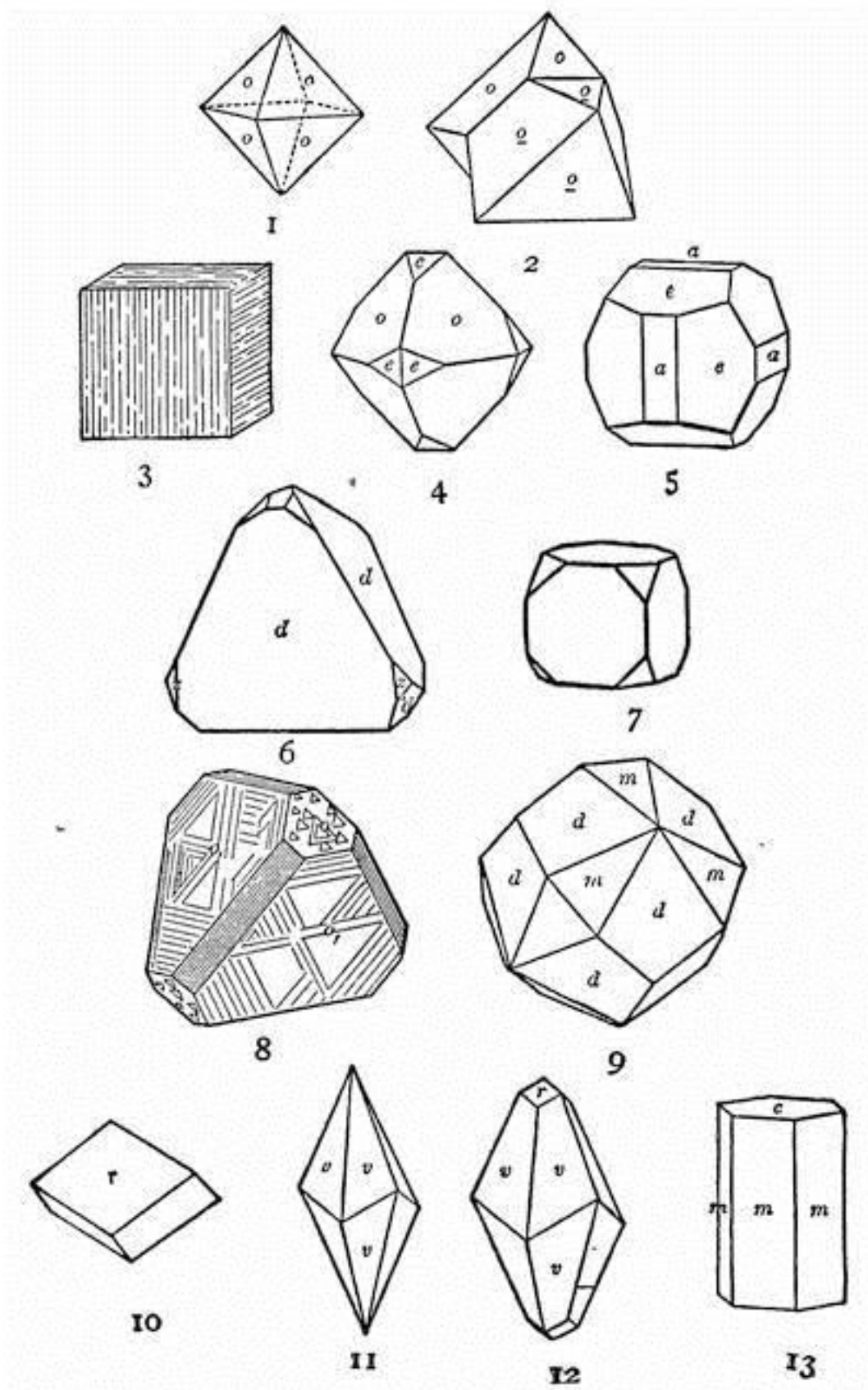


Рис. 486. Формы кристаллов: 1-2 — магнетит; 3-5 - пирит; 6 - халькопирит; 7 - галенит; 8-9 - сфалерит; 10-13 - кальцит.

Азурит.— Гидратированный (основной) карбонат меди, менее гидратированный, чем малахит, и известный как синий карбонат меди. Обычно это очень мелкие и довольно сложные кристаллы, но также и имитирующие формы, похожие на малахитовые, а иногда и землистые. Немного легче по весу, чем малахит, от которого его легко отличить, как и от большинства других минералов, по ярко-лазурно-голубому цвету и несколько более светлым голубым прожилкам. Шипучий с азотной кислотой. Твердость 3,5-4. Удельный вес 3,7-3,8.

Кальцит.— Карбонат кальция, CaCO_3 . Почти всегда в виде кристаллов (рис. 486, ¹⁰⁻¹³) или в виде спутанных кристаллических агрегатов, хотя редко волокнистых или тусклых и землистых. Некоторые формы кристаллов описаны как “шпат в виде собачьего зуба”, другие - как “шпат в виде шляпки гвоздя”, в то время как третьи представляют собой модифицированные шестиугольные призмы. Минерал имеет удивительно совершенное расщепление по трем направлениям, которые образуют углы около 105° друг с другом, так что под ударом молотка вещество разбивается на блоки, по форме напоминающие кристалл, показанный на рис. 486, ¹⁰. Обычно белый или серый, но иногда со слабым оттенком. Белый с прожилками. Шипучий с холодными и разбавленными минеральными кислотами. Ассоциат многих руд и главный минерал известняка. Аналогичный минерал — доломит — содержит дополнительно карбонат магния, имеет более простые кристаллы (как показано на рис. 486, ¹⁰, но часто с закругленными гранями) и шипит только при нагревании кислоты. Твердость 3. Удельный вес 2.7.

Гипс.— Гидратированный сульфат кальция, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и источник парижской штукатурки. Часто в виде простых кристаллов (рис. 487, ¹) или “хвоста ласточки”, как на рис. 487, ²; в этом случае минерал обычно либо прозрачный, либо полупрозрачный и описывается как селенит. Такие кристаллы демонстрируют спайность, приближающуюся по совершенству к слоистости слюды, но, в отличие от пластинок слюды, те, которые образуются при расщеплении гипса, хотя и гибкие, не являются эластичными. Существуют также волокнистые формы гипса (атласный шпат), мелкозернистая форма (алебастр) и нечистая землистая форма (каменный гипс). Очень мягкий, легкий по весу и трудноплавкий. Цвет обычно белый, серый или бледно-желтый. Твердость 2. Удельный вес 2.3.

Взгляд на медь.— Сульфид меди, Cu_2S . Обычно не очень хорошо кристаллизованный, но обычно массивный и связанный или по-разному смешанный с другими медными рудами, такими как халькопирит, малахит и т.д. Излом конхоидаальный, с металлическим блеском, цвет и прожилки черновато-свинцово-серые, хотя часто имеют голубой или зеленый оттенок из-за изменений поверхности карбонатов меди. Мягче и тяжелее халькопирита. Для его идентификации необходимы паяльная трубка или химические тесты. Твердость 2,5-3. Удельный вес 5,5-5,8.

Церуссит.— Белая или карбонатная свинцовая руда, PbCO_3 , а также важная серебряная руда. Часто в кристаллах значительной сложности, хотя на рис. 487, ³⁻⁴ показаны некоторые общие формы. Часто зернистый, массивный или землистый (серая карбонатная руда). Очень хрупкий, с конхоидальным изломом. Блеск адамантинový или как у промасленного стекла. Цвет обычно белый или серый. Очень тяжелый, самый тяжелый из светлых и неметаллических минералов. Растворяется в азотной кислоте с образованием пузырьков. Твердость 3-3.5. Удельный вес 6.5.

Сидерит.— Карбонатная или “слоистая” железная руда, FeCO_3 . Либо в виде кристаллов, напоминающих по форме рис. 486, ¹⁰, но с закругленными гранями, либо поддающихся расщеплению от массивных до мелкозернистых и землистых. Кристаллические разновидности легко расщепляются на более мелкие блоки той же формы, что и блоки

кальцита. Цвет обычно серый или коричневый с белыми прожилками. При сильном воспламенении белый порошок становится черным и магнитным. Более светлый как по цвету, так и по весу, чем другие железные руды, и в отличие от них сидерит шипуче реагирует с кислотой. Отличается от кальцита более высоким удельным весом и его изменением при воспламенении. Твердость 3,5-4. Удельный вес 3,9.

Смитсонит.—Карбонат цинка, $ZnCO_3$, и важная руда этого металла. Редко встречается в виде кристаллов, за исключением замены кристаллов кальцита, и в этом случае он имеет формы, характерные для последнего минерала. Обычно почковидные, сталактитовые или в виде инкрустаций на других минералах. Иногда зернистый или землистый. Хрупкий. Стекловидный блеск, цвет белый или зеленовато-серый, хотя часто окрашен в желтый цвет железной ржавчиной. Прожилки белые, за исключением случаев, когда минерал окрашен железом. Шипит под действием теплой кислоты. Твердость 5. Удельный вес 4,4.

Пирролюзит.—Черный оксид марганца, MnO_2 , хотя обычно нечистый из-за примеси с другими оксидами марганца. Обычно в виде сложных агрегатов, которые могут быть столбчатыми, волокнистыми, мамиллярными, землистыми и т.д. Непрозрачные, с черным цветом и прожилками. Мягкие и легко пачкают пальцы. С соляной кислотой выделяет удушливые пары хлора. Твердость 2-2,5. Удельный вес 4,8.

II. Минералы, важные как породообразователи

Эти минералы в большинстве случаев представляют собой сложные силикаты одного или нескольких из определенного числа металлов, таких как алюминий, кальций, магний, железо, натрий, калий или гидроксил (ОН). Для их идентификации обычно достаточно изучения физических свойств, в то время как для уже рассмотренных типичных рудных минералов могут потребоваться дополнительные химические тесты.

Полевые шпаты.— Группа сходных алюмосиликатов калия, натрия и кальция. Самый важный из всех минералов, образующих горные породы. Несмотря на большие различия в химическом составе, полевые шпаты, тем не менее, в целом подразделяются на два класса; одни полосчатые, а другие представляют собой разновидность калийных или ортоклазовых нитей без бороздок. Карманная линза обычно необходима для того, чтобы разглядеть бороздки на поверхности кристалла или сколов. При образовании в жилах полевой шпат проявляется в виде кристаллов (рис. 487, ⁵⁻⁶), но как составная часть породы взаимное наложение кристаллов предотвращает образование ограничивающих граней. Два направления скола, почти или полностью перпендикулярные друг другу, заметно отличаются по своему совершенству. Стекло достаточно твердое, чтобы поцарапать его, но легко царапается песком. Цвет розовый (обычно ортоклаз или микролин), от белого (часто альбит) до серого. Иногда с красивым эффектом “голубинового горла” переливчатости (лабрадорит). Низкий удельный вес. Твердость 6. Удельный вес 2,5-2,8.

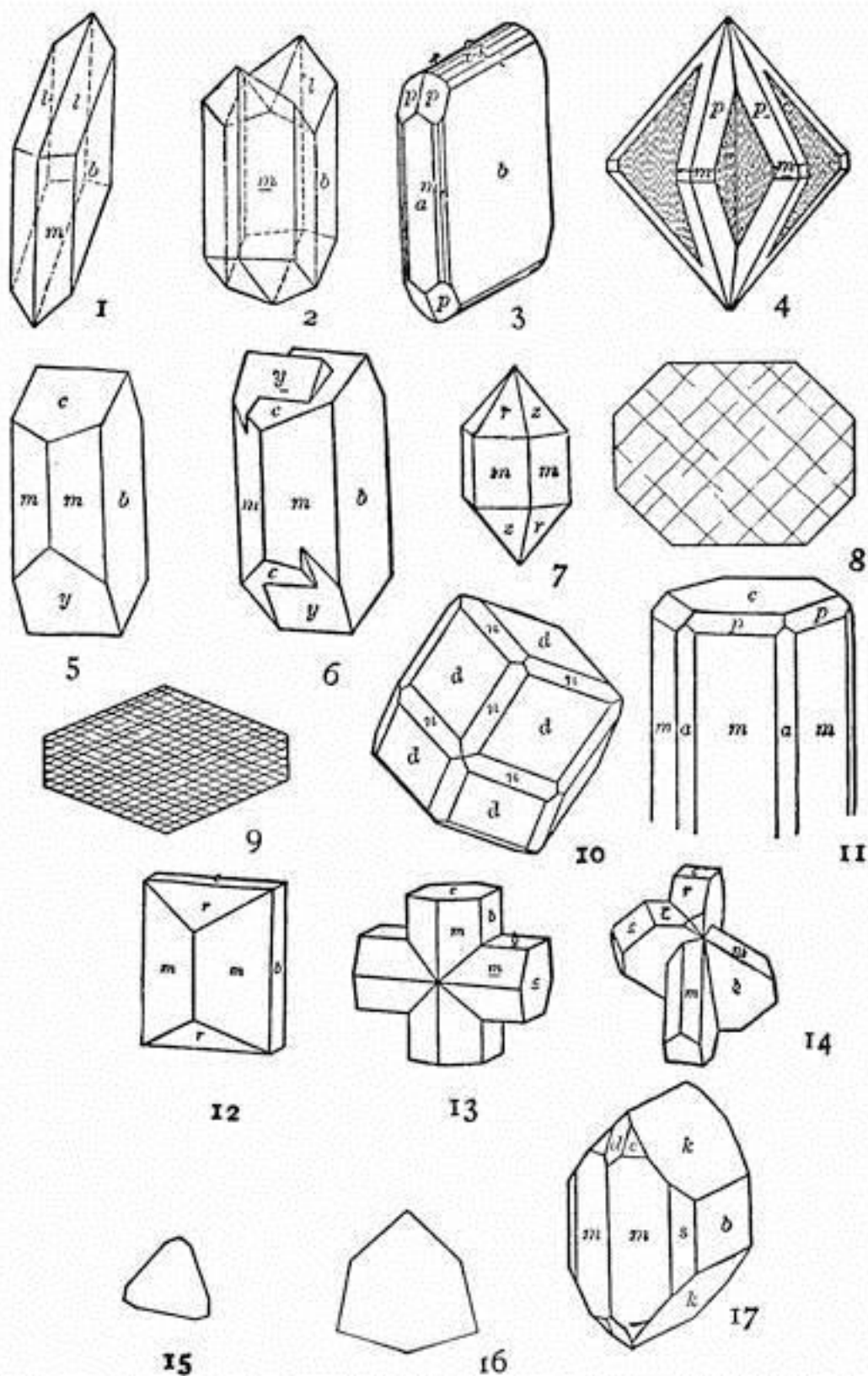


Рис. 487. Формы кристаллов: 1-2, гипс; 3-4, церуссит; 5-6, полевой шпат; 7, кварц; 8, пироксен (поперечное сечение); 9, роговая обманка (поперечное сечение); 10, гранат; 11, нефелит; 12-14, ставролит; 15-16, турмалин (поперечные сечения); 17, оливин.

Кварц.—оксид кремния или двуокиси кремния, SiO_2 . Одновременно является важным жильным минералом, связанным с рудами, и породообразователем. Особенно в первом случае, часто в кристаллах особенно простых форм (рис. 487, ⁷). Немногие минералы, которые не являются драгоценными камнями, настолько тверды. Поразительная свобода от расщепления, так что минерал ломается так же, как оконное стекло — раковидный перелом. Широкий диапазон как по прозрачности, так и по цвету. Прозрачные и бесцветные кристаллические разновидности (горный хрусталь), коричневые полупрозрачные (дымчатый кварц), мутно-белые (молочный кварц) и различные цветные разновидности (сердолик, яшма, гагат и др.). Нерастворимы в кислотах и неплавки. Твердость 7. Удельный вес 2.6.

Слюда.— Подобно полевым шпатам, это группа сложных силикатов, но здесь в основном калий, магний, железо и гидроксил. Распространенные как породообразующие породы, все слюды характеризуются самыми тонкими и прочными эластичными пластинками для расщепления, такими, которые обычно известны как изостекло. Когда иглу резко вводят через тонкую чешуйку слюды, вокруг острия иглы образуется шестилучевая прокалывающая звездочка. Более темная распространенная разновидность слюды богата железом и магнием и называется биотитом, а более светлая щелочная разновидность - мусковитом. Твердость 2,5-3,1. Удельный вес 2,7-3,1.

Хлорит.— Как правило, сложная смесь более или менее похожих микроскопических кристаллов, имеющих различный и довольно сложный химический состав и относящихся к слюдам, но все они характеризуются своеобразным зеленым цветом листьев. Эти минералы являются обычным продуктом гидратационного выветривания в породах, богатых магнием и железом, особенно в тех, которые содержат биотит, пироксен или роговую обманку (см. Ниже). Твердость 1-2.5. Удельный вес 2.5-3.

Пироксены.— Важная группа родственных породообразующих минералов, все из которых являются силикатами оснований магния, кальция, алюминия, железа и марганца. Довольно часто образуются либо столбчатые, либо игольчатые кристаллы, которые имеют одинаковую форму в поперечном сечении, как на рис. 487, ⁸. Два довольно несовершенных скола направлены параллельно более длинной оси кристалла и почти под прямым углом друг к другу. Цвета всех сортов лайма, кроме темных, обычно зеленые, темно-коричневые, бронзовые или черные. Сорта лайма белые, серые или бледно-зеленые. Темная и распространенная разновидность железа известна как авгит. Прожилки обычно либо белые, либо слегка окрашенные. Твердость 5-6. Удельный вес 3,2-3,6.

Амфиболы.— Группа минералов того же химического состава, что и пироксены, с которыми они также совпадают по большинству физических свойств. Основное различие заключается в форме поперечного сечения и в ложбинке (рис. 487, ⁹). Принимая во внимание, что поперечные сечения пироксенов обычно восьмигранные, сечения амфиболов имеют шесть сторон, и принимая во внимание, что направления расщепления пироксенов расположены почти под прямым углом друг к другу (87 °), аналогичные, но гораздо более совершенные направления расщепления амфиболов наклонены под тупым углом (124½ °). Из-за наклонной спайки амфибола трещиноватые поверхности минерала кажутся занозистыми, чего нельзя в той же мере сказать о пироксенах. Волокнистая разновидность амфибола, а иногда и другие разновидности минерала, нередко являются продуктом выветривания пироксенов. Другие физические свойства амфиболов в основном почти идентичны свойствам пироксенов.

Гранат.— Сложные алюмосиликаты или ферросиликаты кальция, магния, железа или марганца, или несколько из них в сочетании. Почти всегда в виде кристаллов и обычно

встречается в слюдяном сланце (см. Ниже). Кристаллы обычно имеют двенадцать похожих граней, каждая в виде ромба (додекаэдра), или еще двадцать четыре похожие грани, или две формы вместе взятые (рис. 487, ¹⁰). Хрупкий. Гранат легко отличить от любого другого минерала, кроме драгоценных камней, по твердости, которая у разных разновидностей колеблется от несколько меньшей до несколько большей, чем у кварца. Блеск стекловидный, а цвет охватывает гамму красных, коричневых и зеленых тонов, но с общим оттенком от темно-красного до черного. Белая полоса. Твердость 6,5-7,5. Удельный вес 3,1-4,3.

Нефелит (нефелен).— Алюмосиликат натрия и калия. В некоторых особых провинциях этот минерал в изобилии встречается как важнейший компонент магматических пород, но в других местах практически неизвестен. Редкие кристаллы представляют собой шестиугольные призмы (рис. 487, ¹¹), но минерал легче всего определить по его общему сходству с полевым шпатом, но с различиями в спайности, блеске и реакции с кислотой. В то время как полевые шпаты имеют две спайности, почти или полностью перпендикулярные друг другу и разной степени совершенства, нефелит имеет три равных спайности, наклоненных на 60 ° и 120 ° друг к другу и менее совершенных, чем любая из спайностей полевого шпата. Блеск нефелита, пожалуй, лучше всего указывает на его принадлежность, поскольку он жирный и имитируется лишь небольшим количеством минералов. Мелкий порошок минерала, обработанный в течение некоторого времени сильной соляной кислотой, образует идеальное желе из кремниевой кислоты, в то время как полевой шпат этого не делает. Нефелит, сам по себе серый или белый и незаметный, обычно ассоциируется с ярко окрашенными минералами, которые часто являются первым признаком его присутствия в породе. Твердость 5,5-6. Удельный вес 2,5-2,6.

Тальк (мыльный камень).— Силикат магния и гидроксид, который является важным продуктом изменения в результате выветривания, особенно некоторых пироксеновых пород. Обычно это слоистая масса, иногда этот продукт волокнистый или даже гранулированный. Тальк - один из самых мягких минералов, он имеет жирный привкус и легко царапается ногтем большого пальца. Блеск листовых разновидностей, как правило, жемчужный, а цвет от яблочно-зеленого до белого, хотя иногда окрашивается в коричневый цвет из-за оксида железа. Прожилки минерала белые, за исключением окрашенных железом. Хотя породы, состоящие в основном из талька (мыльный камень), чрезвычайно мягкие, они очень прочные и удивительно стойкие. Твердость 1-1,5. Удельный вес 2,7-2,8.

Змеевидный.— Как и тальк, серпентин представляет собой силикат магния и гидроксид и важный продукт разрушения минералов магния в процессе атмосферных воздействий. Минерал обычно обнаруживается в виде тонкой паутины микроскопических игольчатых волокон, и его лучше всего приблизительно диагностировать по его цвету и сопутствующим минералам. Подобно тальку, он обычно образуется в тех магматических породах, в которых отсутствует полевой шпат, но где либо пироксен, либо оливин обнаружены в изобилии, либо были изменены до этого. Характерный цвет серпентина - зеленый, как у лука-порей. Скала, в основном состоящая из серпентина, называется тем же названием, и, будучи чрезвычайно прочной и неизменной, является, несмотря на свою мягкость, ценным строительным и поделочным камнем. Красный магниевый гранат, как правило, ассоциируется с такими змеевидными массами. Твердость 2,5-4 из-за примесей. Удельный вес 2,5-2,6.

Ставролит. - Силикат алюминия, железа и гидроксид. Встречается в метаморфических породах, обычно в сочетании с гранатом. Всегда в кристаллах, ограниченных простыми формами, обычно пересекающимися, как показано на рис. 487, ¹²⁻¹⁴. Цвет темно-красновато-

коричневый, а прожилки от бесцветных до сероватых. Твердость исключительная и выше, чем у кварца. Твердость 7-7,5. Удельный вес 3,6-3,7.

Турмалин.— Исключительно сложный силикат бора и алюминия, а также железа, магния и щелочей. Встречается в метаморфических породах и всегда кристаллизован. Кристаллы представляют собой столбики или иглы, поперечное сечение которых лучше всего указывает на их идентичность, поскольку это модифицированный треугольник, непохожий на любой другой минерал (рис. 487, ¹⁵⁻¹⁶). Дополнительными диагностическими свойствами являются характерные бороздки, которые проходят вдоль кристаллов на гранях призмы, и отсутствие какой-либо расщепленности (в отличие от роговой обманки). Твердость также является ценным свойством, поскольку она выше, чем у кварца. Минерал хрупкий, а излом субхоид. Цветовая гамма такая же или даже больше, чем у граната, хотя обычные формы черные как смоль. Полоса неокрашенная. Твердость 7-7,5. Удельный вес 3-3,2.

Оливин.— Силикат магния и железа и породообразующий минерал, встречающийся только в тех магматических породах, в которых мало или совсем нет полевого шпата. Он легко подвергается изменениям в результате выветривания и переходит в серпентин, и фактически редко встречается, за исключением случаев, когда по крайней мере частично преобразован в волокнистую ткань этого минерала. Форма неизмененных кристаллов в породах показана на рис. 487, ¹⁷, и, разрезанный на части, минерал имеет форму более или менее вытянутых шестиугольников. Твердость неизмененного минерала примерно такая же, как у кварца. Он имеет довольно несовершенные сколы в двух прямоугольных направлениях и обычно полупрозрачный, со стекловидным блеском и оливково-зеленым цветом, когда не окрашен в коричневый цвет оксидом железа. Полоса неокрашенная. Твердость 6,5-7. Удельный вес 3,2-3,3.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

В главе IV были кратко рассмотрены классификация и структура горных пород. Ниже добавлены краткие описания наиболее важных распространенных горных пород. Однако для горных пород, как и для минералов, важно, чтобы коллекция хорошо подобранных образцов была изучена для целей сравнения. Маленькая карманная линза является ценным подспорьем в различении составляющих минералов и текстур более мелкозернистых пород.

1. Интрузивные породы

Гранит.—Гранитной текстуры, хотя иногда и порфировой. Наиболее распространенным минеральным компонентом является розовый или белый полевой шпат, обычно без видимых полос, с которым обычно в незначительном количестве встречается белый полосатый полевой шпат. Следующим по важности после полевого шпата является кварц, который из-за отсутствия спайности имеет своеобразную серую поверхность, напоминающую влажный сахар. В дополнение к полевому шпату и кварцу обычно, хотя и не повсеместно, встречается

минерал темного цвета, либо слюда, либо роговая обманка. Слюда обычно представляет собой биотит, хотя часто ассоциируется с мусковитом.

Сиенит.—Похож на гранит, но без кварца, с большим количеством полосатого полевого шпата, и, как правило, порода также имеет более темный средний оттенок. В то время как биотит является наиболее распространенным компонентом гранита темного цвета, роговая обманка более склонна занимать свое место в сиените. Менее распространен, чем гранит, с которым он тесно связан по происхождению и составу.

Габбро.— горная порода темного цвета гранитной текстуры, состоящая из полосчатого полевого шпата с широкими поверхностями расщепления и обычно с большим содержанием пироксена. В отличие от полевых шпатов гранита, габбро часто матовые и окрашены в серовато-желтый или зеленоватый цвет. Пироксен часто частично заменяется волокнистым амфиболом. Магнетит может быть распространенным вспомогательным минералом.

Диабаз.— По цвету темный, как габбро, и аналогичного строения. Однако в диабазе кристаллы полевого шпата вместо того, чтобы быть широкими и иметь нерегулярно прерывистые очертания, имеют относительно длинную форму (“планкообразную”), а пироксен действует как заполнитель остаточного пространства между ними.

Перидотит.— Тяжелая и темного цвета порода гранитной текстуры, которая почти или совсем лишена полевого шпата, но содержит оливин. Измененный, как это обычно бывает, он представляет собой в основном массу серпентина, талька и хлорита, окружающие ядра, возможно, все еще неизмененного пироксена и оливина. Магнетит является распространенным компонентом, и в нем, как правило, присутствует красный гранат.

2. Экструзивные породы

Обсидиан.— Каменное стекло, богатое кремнеземом. Обычно оно черного цвета и разбивается с идеальным конхоидальным изломом. Она часто переходит через незаметные переходы в пемзу, которая отличается только своей везикулярной структурой. По химическому составу обсидиан и пемза не заметно отличаются от риолита (см. ниже).

Риолит.— Светлая порода порфировой текстуры, часто также с флюсиновой или сферолитовой текстурой, или и то, и другое в сочетании. Порфиновый вид породе придают крупные кристаллы стекловидного нерассеченного полевого шпата и кристаллы кварца. Риолит - это очень кремнистая лава, содержащая гораздо больше кремнезема, чем гранит, с которым из интрузивных пород он наиболее тесно связан и от которого отличается своей текстурой и способом встречаемости в природе. В то время как гранит встречается в крупных батолитах, лакколитах и бисмалитах и в большинстве случаев консолидируется под поверхностью земли, риолит обычно встречается в виде пластов, потоков или даек и консолидируется либо над поверхностью, либо в трещинах вблизи поверхности.

Трахит.—Похож на риолит, но обычно имеет специфический серый оттенок из-за большего количества кристаллов полевого шпата. Порода менее кремнистая, чем риолит, не содержит кристаллов кварца и по своему среднему составу приближается к полевоému шпату.

Андезит.— Похож на риолит по внешнему виду и происхождению, но более простой и соответственно темный по цвету. Кристаллы порфира представляют собой пластинчатый полосчатый полевой шпат, с которым связаны кристаллы либо биотита, либо роговой обманки, либо и того, и другого. Флюсовая текстура особенно характерна для этого типа экструзионных пород.

Базальт.— Темная или черная основная порода порфировой структуры, которая мало отличается от диабаза. Под линзой могут быть видны мелкие пластинчатые кристаллы полосчатого полевого шпата, связанные с кристаллами авгита, но чаще порода плотная и без видимых минеральных составляющих. Особенно вероятно, что он разделен на колонны диаметром от шести дюймов до фута и известен как базальтовые колонны. Особенно прекрасные образцы известны на Дамбе Гигантов и в других населенных пунктах на западе Британских островов.

3. Осадочные породы механического происхождения

Конгломерат (“пудинговый камень”).— Порода, состоящая из гальки, которая сцементирована вместе с песком и более мелкими материалами. Галька обычно наносится волнами на берег и может варьироваться по размеру от горошины до больших котелков. Они могут состоять практически из любого твердого минерала или горной породы, хотя песок вокруг них в основном кварцевый.

Песчаник.— Горная порода, состоящая из песка, сцементированного известковыми, кремнистыми или железистыми материалами. Песчаники описываются как рыхлые, когда их поверхностные зерна легко стираются, или как компактные, когда они более прочно сцементированы. Песчаники часто имеют отчетливые полосы и иногда по-разному окрашены оксидом железа. Те песчаники, которые образовались на морском побережье, известны как морские песчаники, в то время как те, которые образовались из скоплений, собранных ветром в пустынях, называются континентальными отложениями. Песчаники образуют гораздо более толстые образования, чем конгломераты, причем последние обычно составляют только базальный слой формации песчаника (базальный конгломерат).

Сланец.— Консолидированный глинистый камень, который, вероятно, является наиболее распространенным горным образованием. В значительной степени глина смешана в различных пропорциях с чрезвычайно мелкими песчинками.

4. Осадочные породы химического осаждения

Известковый туф (травертин).— Не следует путать с туфом, который представляет собой фрагментарную экструзивную или вулканическую породу. Известковый туф образуется, когда воды, содержащие углекислый газ и карбонат извести в растворе, выделяют газ, а вместе с ним и способность удерживать известь в растворе. Такое выделение газа может происходить, когда струя разбрызгивается над каскадом, а затем известь осаждается вокруг места падения. Травертин обычно пористый и образован более или менее концентрическими слоями или инкрустациями. Замечательную иллюстрацию дают залежи травертина в Тиволи и других населенных пунктах близ Рима, поскольку здесь этот материал является ценным строительным камнем.

Оолитовый известняк (оолит).— Эта порода состоит из сферических конкреций и поэтому имеет вид рыбьей икры. Разломанное на части, каждое зернышко обнаруживает в своем центре сердцевину из кремнистого песка, вокруг которого концентрическими слоями отложился карбонат извести. Считается, что воды, насыщенные карбонатом извести, вытекая из реки вблизи морского пляжа, покрывают песчинки последнего тонкими пленками карбоната извести из-за ритмичных приливов и отливов, при этом испарение прилипшей воды происходит, когда песок обнажается во время отлива.

5. Осадочные породы органического происхождения

Известняк.— Обычно белая или серая горная порода, состоящая из карбоната извести с различными пропорциями глины, кремнезема и других примесей. Карбонат извести обычно получают из твердых частей морских организмов, а глинистые и кремнистые примеси - из более мелких донных отложений, которые опускаются вместе с ними на дно.

Доломит (доломитовый или магниевый известняк).—Отличается от известняка содержанием в различных пропорциях минерала доломита (*ante*, [стр. 455](#)), который состоит из равных частей карбонатов кальция и магния. Доломит трудно отличить от известняка, если не проводить химический анализ на наличие магния, хотя в целом можно сказать, что доломит менее растворим в холодных минеральных кислотах.

Торф.—Скопление разложившегося растительного вещества в небольших озерах и в лагунах, отделенных от более крупных (*ante*, [стр. 429](#)). Торф представляет собой первую стадию образования угля из растительных материалов и отличается от угля большей долей содержащейся в нем воды. Из-за наличия воды его топливная ценность соответственно невелика. Обычно он темно-коричневый или черный и в чем-то напоминает строение растений, из которых он был сформирован.

6. Метаморфические породы

Гнейс.— Обычно более или менее полосчатая (гнейсовая) метаморфическая порода с минеральным составом, сходным с гранитом, и часто образующаяся в результате метаморфических процессов из этой породы. В других случаях он может быть получен из осадочных формаций процессами, существенно не отличающимися друг от друга. Обычно он содержит в качестве важных компонентов нерассеченный полевой шпат и кварц, но дополнительно он может включать полосчатый полевой шпат, биотит, мусковит или роговую обманку, или несколько из них вместе взятых. По мере обилия слюды или роговой обманки она имеет заметную полосчатую текстуру, но отличается от слюдяного сланца (см. Ниже) не только наличием в нем полевого шпата, но и меньшей долей слюды. Биотитовый гнейс, гнейс с роговой обманкой и т.д. - это термины, используемые для обозначения разновидностей, в которых преобладает тот или иной компонент темного цвета.

Слюдяной сланец.- метаморфическая горная порода без полевого шпата, состоящая в основном из кварца и светлой слюды (мусковита). Обилие слюды придает породе характерную сланцеватую текстуру, которая отличается от обычной текстуры гнейса. В некоторых случаях слюда обволакивает зерна кварца, но в других случаях она образует ряд почти непрерывных мембран, разделяющих слои кварца.

Серицитовый сланец.— Разновидность сланца, которая характеризуется обилием своеобразной серебристой слюды, богатой гидроксильной группой элементов. Чешуйки слюды часто бывают микроскопическими и образуют сложную паутину с кварцевым компонентом.

Тальковый сланец.— Сланец, состоящий в основном из талька, но с различными пропорциями кварца, магнетита и т.д. Из-за обилия талька он обычно бледно-зеленый или белый.

Хлоритный сланец. Зеленоватая мелкозернистая метаморфическая порода, в которой хлорит является основным минералом, но в которой магнетит является довольно характерным вспомогательным компонентом.

Ставролитовый гранатсодержащий слюдяной сланец.— Слюдяной сланец, в котором гранат и ставролит настолько многочисленны, что являются незаменимыми составляющими.

Глинистый сланец.— метаморфизованный глинистый камень или сланец. В процессе метаморфизма порода затвердела, приобрела слоистую спайность, и на гранях спайности образовались бесчисленные мельчайшие чешуйки слюды, придающие сколам шелковистый блеск. Цвет может быть серым, зеленым, фиолетовым или черным.

Кварцит.— Метаморфизованный песчаник, в котором песчинки увеличились за счет наложения кремнезема. В то время как песчаник разрушается вокруг составляющих его зерен, разрушение кварцита продолжается как через зерна, так и через цемент. В отличие от песчаников, полученные из них кварциты обычно более светлого цвета и часто почти белые.

Мрамор (кристаллический известняк).— Результат метаморфизма известняков. Обычно белого цвета, но иногда серого, сине-серого или желтого, а иногда с различными трещинами или брекчиями и пятнами оксида железа. Шипит от холодной разбавленной кислоты.

Угли.— Под слоем торфа была кратко описана первая стадия образования углей из растительных материалов. Лигнит, или бурый уголь, представляет собой следующую стадию, на которой растительная структура все еще узнаваема. Обычно он коричневатого-черного или сажевого цвета и содержит значительную долю воды. При повышенном давлении или динамическом метаморфизме дополнительные проценты летучих компонентов удаляются, и когда остается от семидесяти пяти до девяноста процентов углерода, материал горит желтым пламенем и известен как битуминозный уголь. Это отличное топливо для производства пара. Продолжение метаморфических процессов уносит дополнительную долю летучих веществ и оставляет плотное, твердое, черное вещество, содержащее иногда до девяноста пяти процентов углерода. Это так называемый “каменный уголь” или антрацит, обычно используемый в качестве топлива в наших домах, для чего он так хорошо приспособлен, потому что горит с выделением большого количества тепла и почти без дыма.

ПРИЛОЖЕНИЕ С

СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Топографические карты - библиотека физиографии.—Для удовлетворительного детального изучения геологии любого региона сложной структуры необходимым условием является точная топографическая карта. Это тем более верно, что почти все сложенные или нарушенные скальные массивы находятся в горных или, по крайней мере, в холмистых регионах. Следовательно, составление топографической карты должно предшествовать составлению геологической карты, и в современном использовании последняя представляет собой топографическую и геологическую карту, объединенные в одно целое.

В определенных узких пределах прогнозы относительно геологической истории провинции часто могут быть сделаны опытным геологом на основе изучения точной топографической карты. Точно так же, как при прогнозировании погоды на основе обычных погодных карт, такие прогнозы иногда можно делать с полной уверенностью в их точности, в то время как в других случаях можно ограничиться лишь предположением. Однако огромная ценность современной топографической карты становится общепризнанной, и каждая высокоцивилизованная нация либо завершила, либо подготовила топографические карты своих владений в разрезе в таком масштабе, который оправдан ее финансовым состоянием и уровнем развития. Таким образом, в настоящее время накоплена обширная библиотека географической и, в некоторой степени, геологической информации, к использованию которой должен быть готов изучающий геологию.

Природа контурной карты.—Все больше и больше контурная карта заменяет более ранние и менее научные методы представления топографии на крупномасштабных секционных картах, и, следовательно, здесь необходимо рассматривать только этот тип. На контурной карте рельеф местности представлен серией изогнутых линий, каждая из которых представляет собой пересечение определенной горизонтальной плоскости с поверхностью суши, и несколькими плоскостями, разделенными равномерными перепадами высот. Этот интервал высот известен как интервал контура. Его выбор имеет большое значение, поскольку, хотя регионы с относительно простой топографией могут быть адекватно представлены на карте с большим интервалом контуров, скажем, в сто футов, для другого района может потребоваться интервал всего в пять футов. Можно предположить, что контурная карта с таким интервалом была составлена путем затопления региона, который она представляет, и составления карт береговых линий для каждого подъема водной поверхности на пять футов и наложения нескольких полученных таким образом карт с точной регистрацией одна над другой. Везде, где склоны суши крутые, береговые линии на нескольких картах будут располагаться близко друг к другу и создавать эффект относительно темного локального оттенка; там, с другой стороны, поверхность относительно плоская, несколько берегов будут расположены на большом расстоянии друг от друга, и эффект будет заключаться в создании белой области на карте. Таким образом, на контурных картах темные тона указывают на крутые уклоны, а бледные - на ровность поверхности.

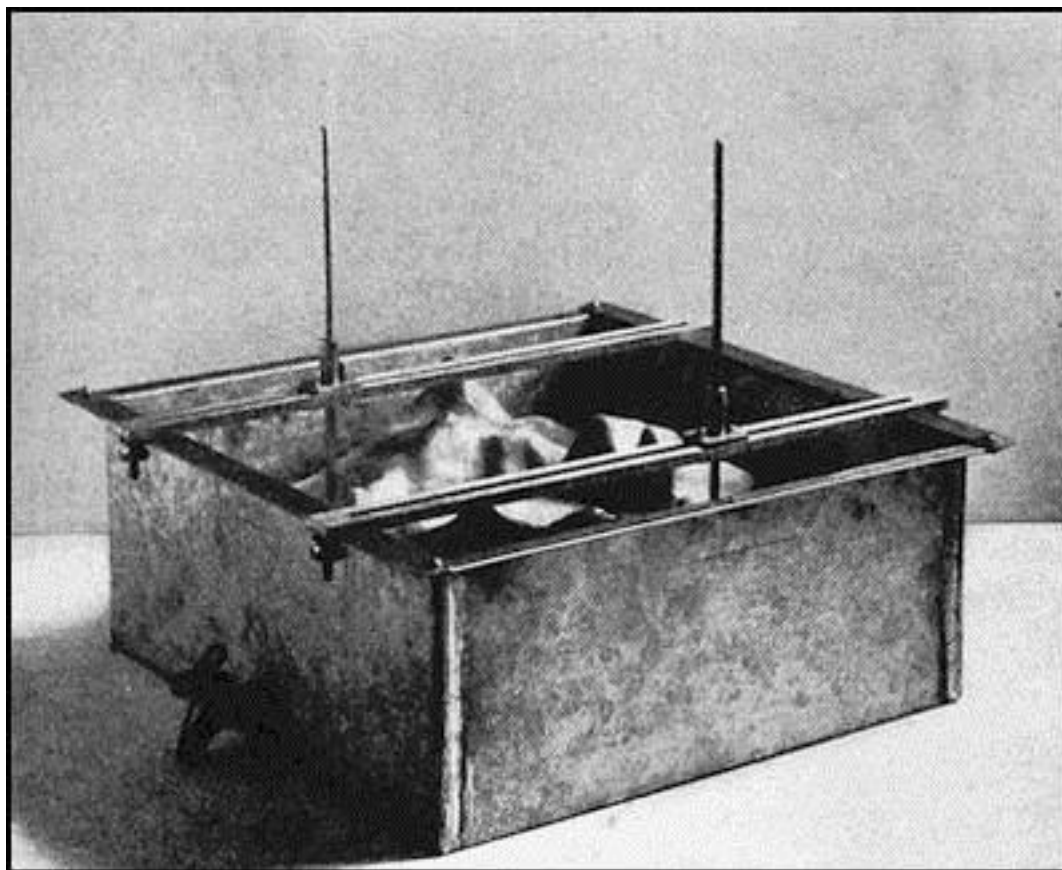
Выбор масштаба и интервала между контурами.— При использовании мелкого масштаба на контурной карте тона карты будут соответственно темными, хотя относительные различия в тоне останутся прежними. При использовании более плотного интервала между контурами тона будут более глубокими по всей длине. Настройка масштаба и интервала контуров для любого данного региона - это вопрос, требующий опыта в составлении топографических карт и, кроме того, знания геологического значения топографических объектов. К сожалению, фактор затрат и особые коммерческие объекты, которые принимаются во внимание, приводят к выбору масштабов и интервалов контуров, которые часто мало адаптированы к исследуемым районам.

Метод составления топографической карты.—После определения масштаба и интервала контуров, которые должны использоваться, задача топографа состоит в том, чтобы затем точно зафиксировать положения и высоты достаточного количества точек для *контроля* карты, а затем как бы прикрепить к этим точкам схему, представленную рельефом. Если бы поверхность земли была представлена гибкой тканью, картограф мог бы поднять из плоского основания ряд прочных столбов той высоты и в тех положениях, которые он определил, и на этих опорах расположить наклоны ткани так же, как регулируется драпировка. Таким образом, определение точных положений и высот его контрольных постов является

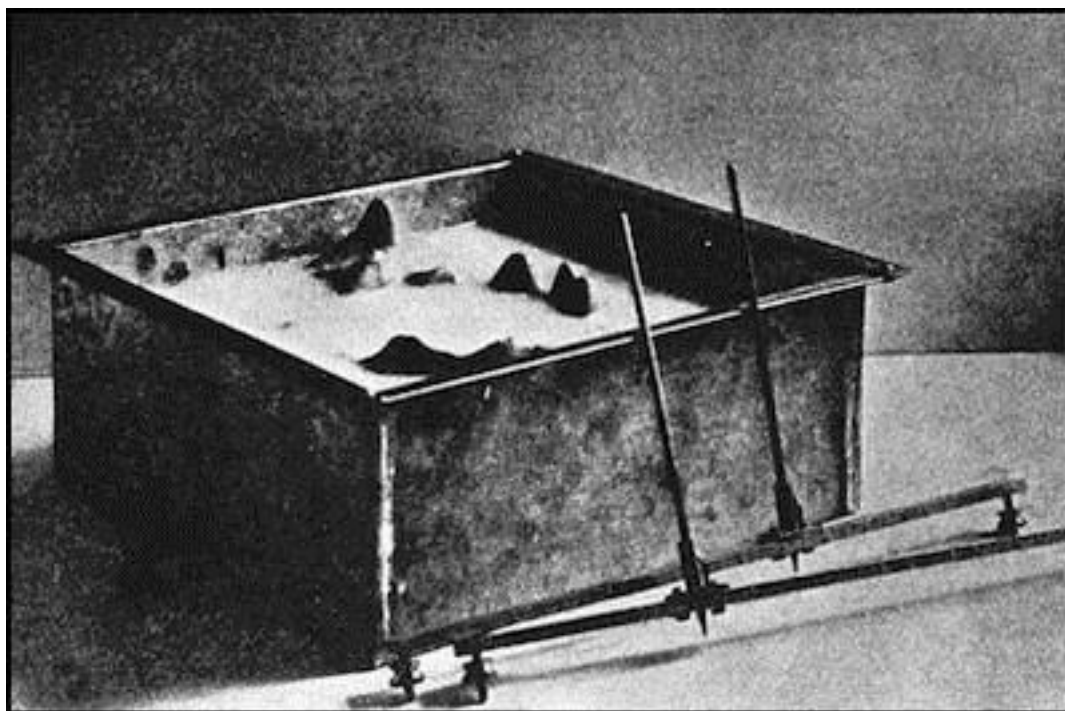
процессом холодно точным и формальным; тогда как при придании формы поверхностям его внимание должно быть сосредоточено больше на правильном воспроизведении форм, чем на точной фиксации положения каждой точки. Фактически, положение средней точки будет наиболее точно зафиксировано, когда формы объектов будут наиболее четко поняты. Следовательно, в какой-то степени топограф должен быть знаком с геологическим значением объектов земли, которые он представляет.

Лабораторные занятия по составлению топографических карт.—Принципы, лежащие в основе геодезического метода составления топографической карты, могут быть изучены в лаборатории с помощью моделей и простого устройства, показанного на рис. 24 А и В. Для представления участка страны, подлежащего нанесению на карту, используется модель из гипса Парижа, которая помещается в прямоугольный резервуар, к которому прикреплены направляющие и датчики высоты, позволяющие студенту зафиксировать положение и высоту любой точки на поверхности модели.

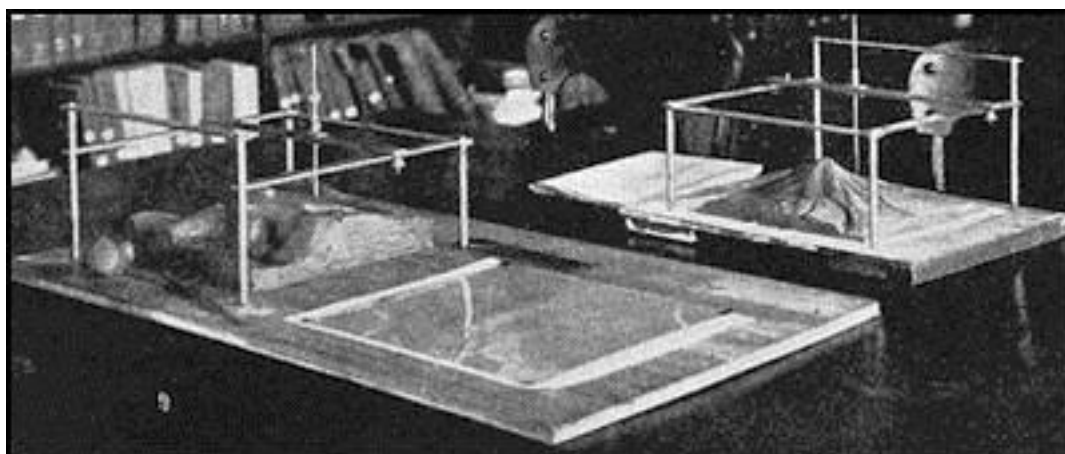
Фото 24.



А. Устройство для упражнений при составлении топографических карт.



Б. Тот же прибор, который используется для проверки контуров карты.)



С. Используемый моделирующий аппарат.

На каждой модели студент “находит”, или фиксирует, положение достаточного количества точек для контроля на своей карте, занося в соответствующую картографическую базу для каждой позиции высоту, которая была считана с датчиков. Теперь, *всегда имея перед собой карту*, он “зарисовывает” формы поверхности с помощью контурных линий. Для этой цели часто бывает желательно примерно зафиксировать направление самого крутого склона в ряде мест и, отмечая разницу в высоте между контрольными пунктами, разделить расстояние в соответствии с изгибами склона и начинать контуры под прямым углом к склону. После этого такие секции соединяются с помощью эскизов, при этом модель всегда находится в поле зрения для контроля (рис. 488).

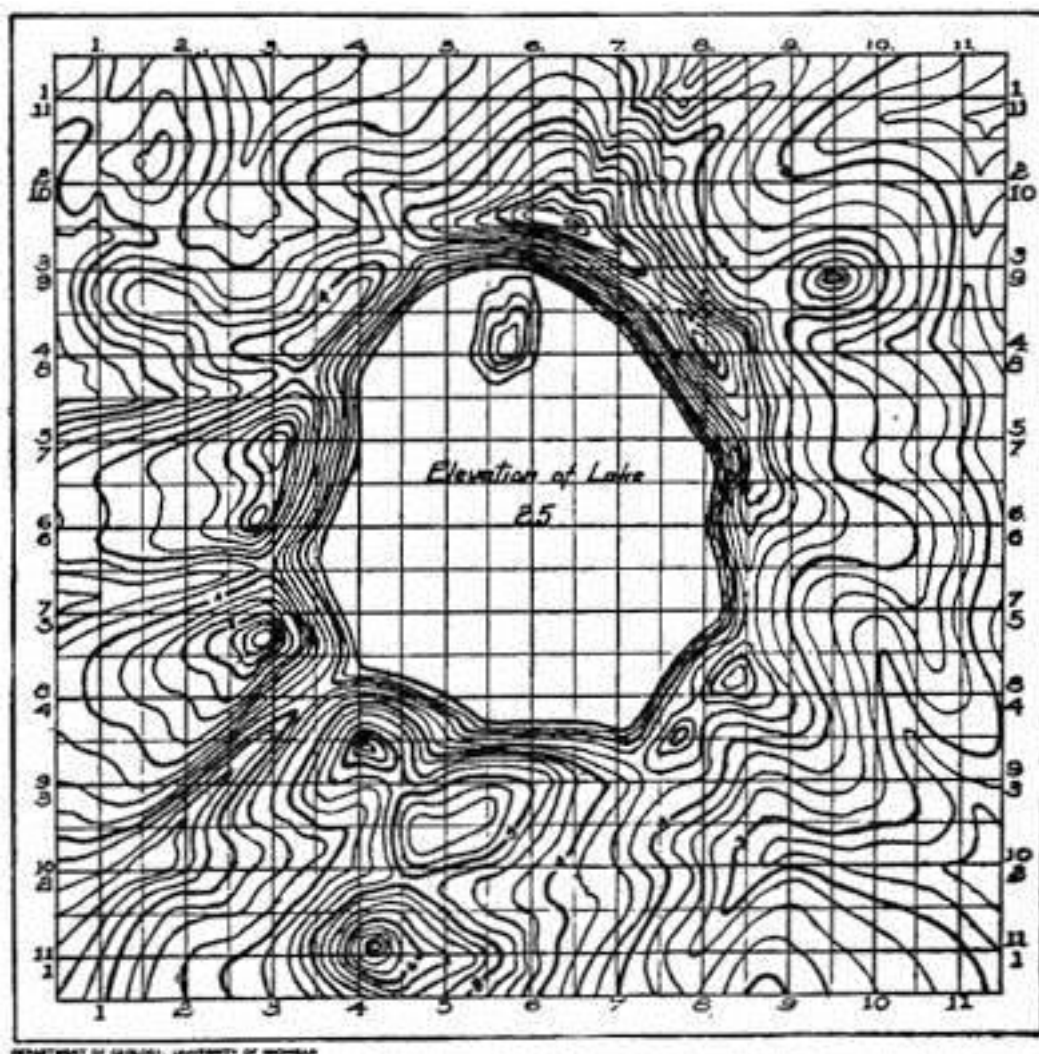


Рис. 488.—Карта студента, подготовленная на основе модели с использованием контурного устройства, представленного на [рисунке 24 А](#).

Проверка карты.—Подготовленная карта, ее точность может быть проверена простым методом, в котором отказано топографу, имеющему дело с реальной поверхностью земли. Установочные каретки и датчики высоты извлекаются из резервуара, который затем заполняется водой и выравнивается с помощью направляющих на внутренней поверхности. В воду добавляют несколько капель молока или обычного средства для посинения одежды, чтобы сделать ее непрозрачной, а затем последовательно сливают через кран, так что поверхность покрывается слоями, толщина которых соответствует интервалу контуров на карте, рисунок 24 В. По мере удаления каждого слоя тот контур карты, которому должна соответствовать береговая линия, тщательно изучается и корректируется. Благодаря таким исправлениям вскоре становится понятен характер первых допущенных ошибок, и, таким образом, легче усваивается метод процедуры. В то же время значение дизайна карты усваивается быстрее, чем при простом изучении стандартных правительственных карт.

Описанная выше работа требует создания водонепроницаемых моделей подходящей формы и размера, и г-н Ирвинг Д. Скотт разработал серию, каждая из которых содержит какую-либо типичную особенность или серию функций.^[2]

Подготовка физиографических моделей.—Устройство, используемое для подготовки топографической карты, приспособлено также для подготовки физиографической модели по стандартной топографической карте. Для этой цели метод по существу изменен на

противоположный, хотя резервуар с выгодой заменен легким металлическим каркасом, приподнятым с одной стороны, чтобы позволить свободно использовать руки при лепке из глины.

Материалом, использованным при изготовлении модели, является пластилин для художественной лепки[3] в основе которого говяжье сало, поэтому оно не высыхает и не растрескивается, как обычная глина. Таким образом, его форма сохраняется на неопределенный срок, и его можно использовать снова и снова. Большинство карт необходимо увеличивать при моделировании, и самый простой способ часто заключается в том, чтобы фотографически или с помощью пантографа увеличить карту до масштаба модели. Подготовленная карта закрыта тонкой целлулоидной пластинкой, на которой нанесен ряд пересекающихся линий с интервалом в дюймах и более крупными делениями, соответствующими разделительным кареткам (фото 24 С).

Увеличение карты не является обязательным для опытных работников, и стандартная карта может быть закрыта аналогичным образом прозрачной табличкой с рисунком в виде шахматной доски, квадраты которой имеют некоторое простое соотношение размеров с более крупными делениями установочных кареток (Табличка 24 С, сзади).

Метод подготовки модели сравнительно прост. Начиная с любой точки на карте, тщательно отмечается пересечение жирной контурной линии с одной из направляющих линий целлулоидной "позиционной таблички". Как положение, так и высота этой точки фиксируются с помощью указателя высоты рамки для моделирования, и глина, накопленная под ней на эту высоту. Теперь пальцами глине придается грубая форма в различных направлениях от этой точки, указатель высоты перемещается установочной кареткой таким образом, чтобы его положение соответствовало пересечению следующей жирной контурной линии с той же направляющей на позиционной табличке, и высота для этой точки аналогичным образом регулируется на модели. Как и прежде, поверхности глины заранее придается грубая форма с боков, чтобы соответствовать указаниям на карте; и этот процесс повторяется до тех пор, пока работа не будет закончена. Поправки для промежуточных положений могут быть внесены с любой желаемой степенью уточнения, которую позволяют масштаб и точность карты. Модели, площадь которых превышает площадь рамки для моделирования, подготавливаются путем изготовления квадратного фута за раз с помощью описанного выше процесса, а затем перемещения рамки вперед и установки в новое положение с помощью острых штифтов в ножках устройства.

Чтение Ссылок

Уильям Х. Хоббс, Новые лабораторные методы обучения географии, Географический журнал, том 7, 1909, стр. 97-104. Также шотландец. Geogr. Mag., vol. 24, 1908, pp. 643-652. Моделирование физиографических форм в лаборатории, там же., том 8, 1910, стр. 225-228.

ПРИЛОЖЕНИЕ D

ЛАБОРАТОРНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ При ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ



Рис. 489. Модели для представления обнажений горных пород.

Лабораторные модели, которые были описаны на стр. 63 и используются для представления обнажений при изучении геологических карт, показаны на [рис. 489](#). Блоки в форме барабана служат для обозначения массивных горных пород, которые встречаются в массивах неправильной формы, таких как батолиты и потоки. Длинные узкие полосы предназначены для интрузивных пород в виде даек, в то время как более крупные блоки, снабженные шарнирным соединением, используются для обнажения осадочных пород, и после регулировки они задают наклон обнажения. Створчатые болты, используемые в их конструкции, должны быть бронзовыми из-за воздействия железа на компас. По той же причине столы не следует ставить рядом с железными балками или колоннами. Все эти блоки могут быть изготовлены обычным плотником, и их должно быть в наличии в достаточном количестве для решения задач, подобных тем, что показаны на [рис. 47](#), [48](#) и [490](#). С целью внесения предложений по другим проблемам того же общего характера были введены три дополнительные карты полей, приведенные на [рис. 491](#).

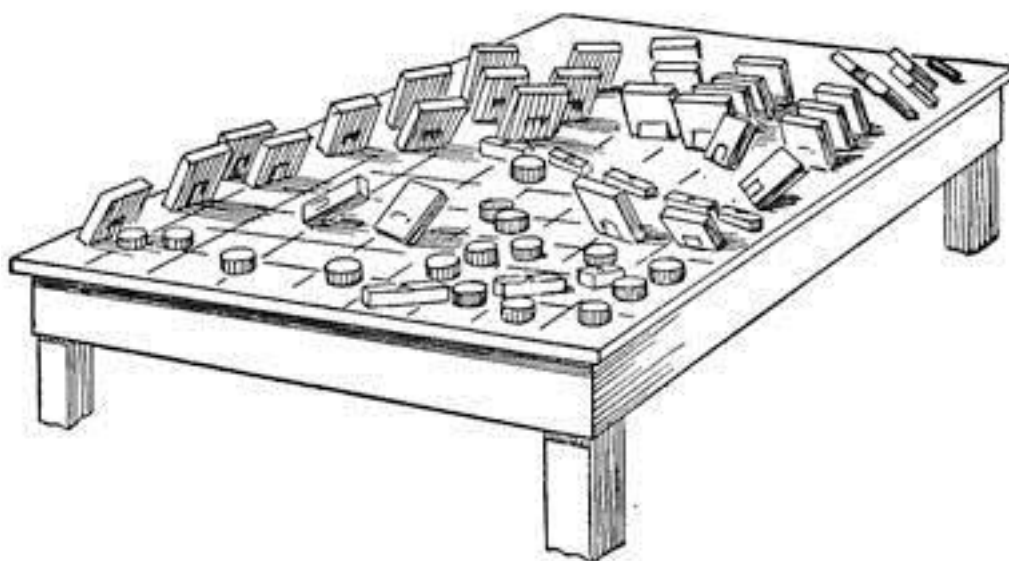


Рис. 490.— Специальный лабораторный стол, установленный с задачей геологического картирования, которая решена на [фиг. 47](#) и [48](#).

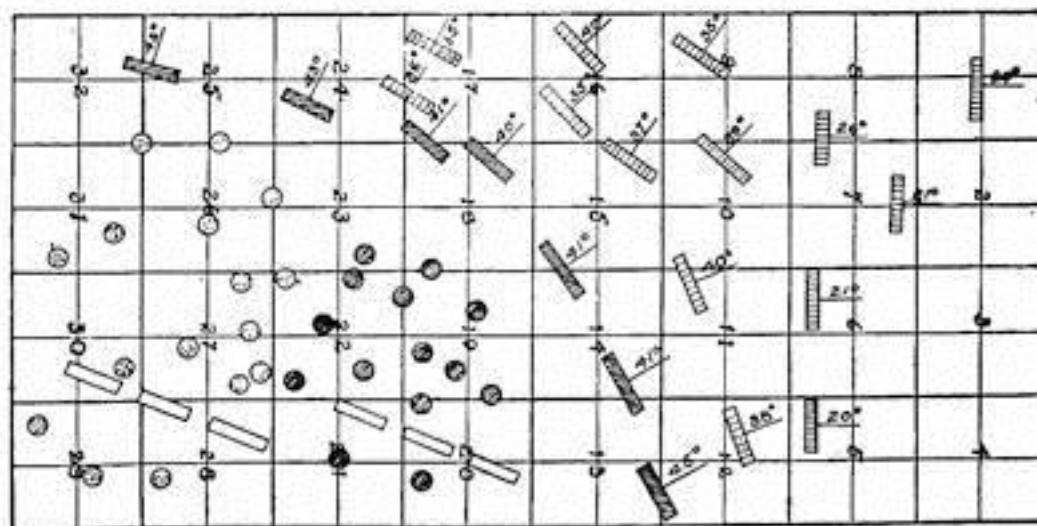
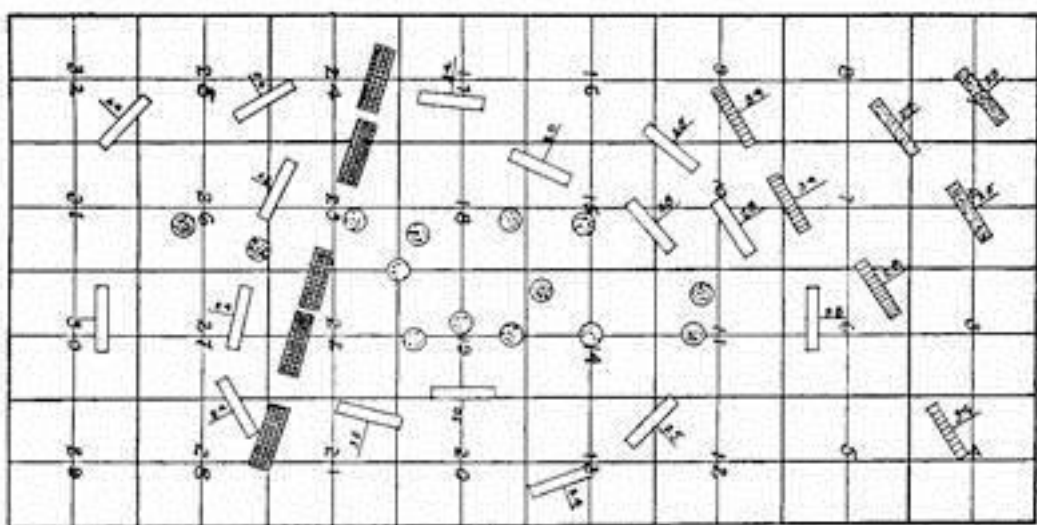
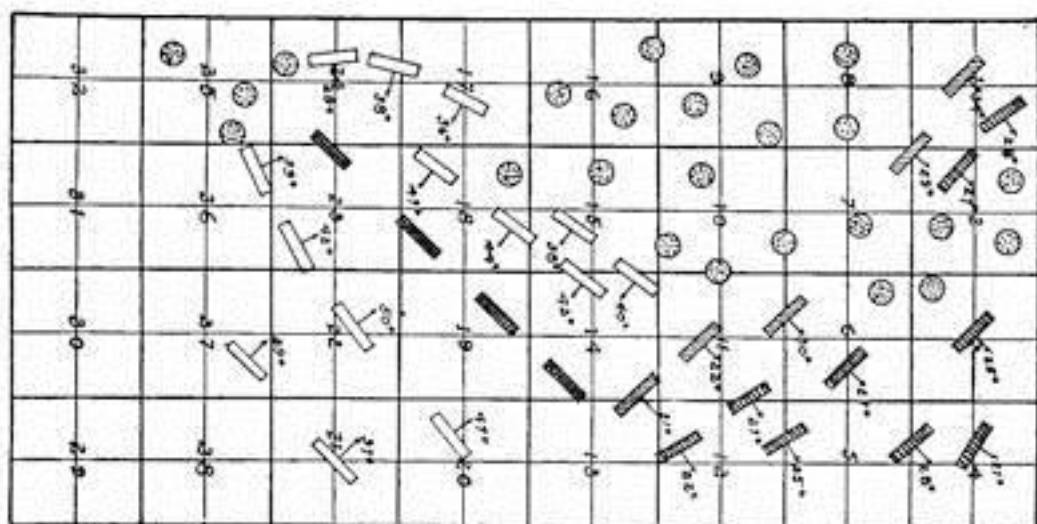


Рис. 491.— Три карты полей, которые будут использоваться в качестве рекомендаций по составлению лабораторных таблиц для решения задач при составлении площадных геологических карт.

Приведенный ниже список вопросов предназначен для обозначения характера некоторых проблем, которые следует попросить студента решить при подготовке каждой карты. Цифры в круглых скобках относятся к страницам этой книги, где приведена дополнительная информация:—

Стратиграфический

1. Какие из представленных образований являются осадочными, а какие магматическими (глава I, IV, приложение B)?
2. Какие пласты, если таковые имеются, разделены несоответствиями (51-53)?
3. Каков порядок возраста осадочных образований (65 лет)?
4. Какова обнаженная толщина каждого из этих образований (48-49)?
5. Представляют ли какие-либо из этих значений полную толщину пласта, и если да, то какие?
6. Каков возраст осадочных образований каждого из массивов магматических пород (65 лет)?
7. Какие магматические породы, если таковые имеются, встречаются в батолитах (143, 441)? Какие, если таковые имеются, в дайках (140)?

Структурный

8. Какие образования, если таковые имеются, имеют моноклиальный провал (42)?
9. Обозначьте на карте пунктирными линиями гребни всех антиклиналей и впадины синклиналей.
10. Укажите стрелками направление наклона всех погружающихся антиклиналей и синклиналей, где это видно по изменениям наклона и простирания (43).
11. Укажите приблизительное положение всех разломов, положение которых указано (58-61), и, по возможности, укажите, какой ответвление находится ниже.
12. Подготовьте подходящие геологические разрезы.

Справочник по чтению

Уильям Х. Хоббс. Аппарат для обучения географии и структурной геологии. III. Интерпретация геологических карт. Школьные науки и математика, том 9, 1909, с. 644-653.

ПРИЛОЖЕНИЕ E

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МАРШРУТЫ ПАЛОМНИЧЕСТВ С ЦЕЛЮ ИЗУЧЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗЕМЛИ

Главная ценность лабораторных исследований, рассмотренных в предыдущих приложениях, заключается в подготовке к наблюдениям, проводимым в полевых условиях — в лаборатории по преимуществу геолога. Паломничества, маршруты которых предлагаются здесь, были

спланированы специально для того, чтобы впечатлить наблюдением за уроками этой книги. Такие путешествия лучше всего прерывать в относительно небольшом количестве населенных пунктов, которые, поскольку уже изучены достаточно подробно, специально приспособлены для того, чтобы служить центрами местных экскурсий. Эти населенные пункты в большинстве случаев являются прекрасными живописными местами, к которым прибегают туристы, или расположениями университетов, вблизи которых часто проводились особо детальные исследования.

В Соединенных Штатах было опубликовано несколько местных геологических справочников, а Геологические справочники, опубликованные Геологической службой Соединенных Штатов, уже доступны для ряда таких центров. Для одного длительного геологического паломничества нам повезло с тщательно подготовленным гидом, а именно из Нью-Йорка в Йеллоустонский национальный парк и обратно, с дополнительной поездкой в Гранд-Каньон в Колорадо. За исключением дополнительной поездки, этот маршрут в значительной степени соответствует выбранному здесь, и особенно для обратного путешествия студента направляют к нему за информацией (Геологический путеводитель по экскурсии в Скалистые горы, под редакцией Сэмюэля Франклина Эммонса. Доклад графа Международного геологического конгресса, 5-я сессия, Вашингтон, 1891, 1893, стр. 253-487, карта и таблички 13, рис. 32).

Наше путешествие начинается в Нью-Йорке, который построен на глубоко затопленных каналах эстуария, забитого ледниковыми отложениями, хотя по каналу можно пройти как по глубокому каньону через континентальный шельф к его окраине (252,[4] pl. 17 B Нью-Йорк также находится на границе оледеневшей области, внешняя конечная морена которой хорошо представлена на Лонг-Айленде (298). По ту сторону Гудзона в Нью-Джерси находится великая Прибрежная равнина, которая переходит в олдленд по четко очерченному краю (159, 246, 247). Местный геологический путеводитель по окрестностям мегаполиса был написан Gratacap (Geology of the City of New York, Большой Нью-Йорк. Брентанос, Нью-Йорк, 1904, стр. 119, pls. и карта).

Путешествуя по Центральной железной дороге Нью-Йорка, мы следуем по Ирокезскому выходу ледниковых озер Ирокез и Алгонкин (334), сначала огибая с востока огромные выступы интрузивного базальта, известные как Палисады, с их заметно столбчатыми сочленениями и пересечениями многочисленными разломами. Над Пикскиллом мы входим в живописную протоку реки (174), вырубленную в твердых кристаллических породах Высокогорья. Въезжая в долину Могаук, мы проезжаем Сиракузы с известняковыми пещерами и хорошо ориентированными швами, расширенными раствором за счет нисходящих грунтовых вод (181, стр. 6 Б). Ответвление на юго-запад достигает окрестностей озера Каюга и Итаки, где хорошо ориентированы стыки, которые контролируют направления дренажа, а также есть типичный слой (55, 87, 428).

До Ниагарского водопада следует выделить не менее дня на “поездку по ущелью” на троллейбусе, совершив таким образом полный объезд края ущелья с остановками и изучением местности во всех важных точках (352-366, стр. 23 А). От Ниагарского водопада по Центральной железной дороге Мичигана мы добираемся до Детройта на нынешнем выходе из верховьев Великих озер, а также из более позднего озера Алгонкин (334). Из этого города как центра можно совершить поездку по электрической железной дороге в Ипсиланти и Анн-Арбор, по дну ранних ледниковых озер от первого Мауми до Уоррена (330-333). пляж стронг-Уиттлси находится на маленькой станции Ридж-роуд, а один из пляжей Мауми - на Саммер-

стрит в Ипсиланти. Город Ипсиланти построен на террасе (165) реки Гурон, а другую террасу из той же серии пересекает линия электропередачи. Во время экскурсии на несколько миль вниз по реке, мимо меандров (164-165) и озер окс-боу (165, 415), был обнаружен интересный случай захвата ручья недалеко от маленькой деревни Роусонвилл (175. См. Исайя Боумен, журнал. Геология., том 12, 1904, стр. 326-334).

Продолжая наше путешествие из Ипсиланти по высокой морене (312), мы достигаем Энн-Арбора, построенного на ровной равнине аутвош, иногда отделяемой от морены валунами (281, 314). На территории кампуса университета находятся огромные глыбы яшмового конгломерата и джаспилита, которые были перенесены с севера континентальным ледником (305 лет). Через реку от Центрального вокзала Мичигана и за маленькой церковью находится дельта, образовавшаяся в одном из ледниковых озер Моми и здесь открытая в разрезе (168). К западу от города находится большая долина, которая раньше была руслом реки Гурон, когда она была отклонена континентальным ледником, лежащим к востоку от дренажа Энн—Арбор-Бордер (см. Энн-Арборский фолио, подготовленный USGSS, и, далее, Р. К. Аллен и И. Д. Скотт, Пособие по полевым геологическим исследованиям в окрестностях Энн-Арбора, Джордж Вар, издатель, Энн-Арбор).

Возвращаясь в Детройт (штат Массачусетс), можно посетить большие известняковые карьеры Сибли недалеко от Трентона. Они демонстрируют идеальную расчлененность, многочисленные окаменелости и особенно хорошо покрытые льдом поверхности, прерываемые глубокими впадинами и демонстрирующие следы нескольких оледенений (304). Из Детройта путешествие продолжается на пароходе до острова Макино в проливе, соединяющем озера Мичиган и Гурон, проходя по пути через своеобразную дельту реки Сент-Клер (431) и попадая в поле зрения зазубренных мысов, которые являются памятником послеледникового поднятия оледеневшей территории (250, 341). День проводится на острове Макино и Сент-Игнас, чтобы с некоторой тщательностью изучить эти приподнятые участки позднеледниковых озер (341-344). В Чикаго теперь можно добраться либо на пароходе, либо по железной дороге, и в его окрестностях мы можем увидеть возвышенные пляжи и древний выход из озера Чикаго (331-332, 347, стр. 22 А. См. Чикагский фолио, США). Чикагская и Северо-Западная железные дороги пересекают область рецессивных морен и промежуточных пойменных равнин, а позже и драмлины, направляясь в Мэдисон, штат Висконсин. Изучив карты на страницах 308 и 317 в сочетании с более крупными атласными листами Геологической службы США (Джейнсвилл, Эвансвилл и Мэдисон шитс), это автомобильное путешествие может стать наиболее поучительным в плане ознакомления с характерными ледниковыми особенностями, и это изучение с особой пользой продолжается в экскурсиях по Мэдисону как центру (316-317, 407). Это тем более верно, что во многих населенных пунктах в окрестностях Мэдисона хорошо исчерченный ледниковый покров виден для сравнения направлений полос с осями нескольких типов ледниковых образований.

Особенно поучительную экскурсию можно совершить в экипаже за один день в "зону без дрейфа" примерно в двенадцати милях к западу от города. Прежде чем добраться до него, мы попеременно пересекаем серию рецессивных конечных морен (рис. 17 В) и пойменные равнины, а возле Перекрестных равнин встречаем частично расчлененную возвышенность с ее древовидным дренажом и ровной линией неба (298, 300-301, 312-313, рис. 16 А и В). Типичные береговые образования (233, 241, 242) озера Мендота с пользой изучаются во время пешеходной поездки к Пикник-Пойнт и за его пределы, где находятся лучшие ледяные валы (431-434. См. Бакли, Перевод. Wis. Acad. Sci., том 13, стр. 141-162, стр. 18).

Теперь наше путешествие продолжается по Чикагской и Северо-Западной железной дороге до озера Девилс близ Барабу, где мы пересекаем выступ зоны без дрейфа, в пределах которой находится озеро Девилс, заключенное в бывшей долине реки Висконсин, с тех пор изменившее направление в результате ледникового нашествия (312-313). Долина здесь представляет собой бывшее сужение в твердом кварците (466), которое возвышается над озером неустойчивыми трубами (300), такими как Башня Дьяволов, но такие остатки не найдены на другой стороне морены, поскольку там их заменяют округлые скальные уступы. К северу от озера краевая морена, перегораживающая долину, настолько характерна, что заслуживает специального изучения (стр. 17 С). Всего в нескольких милях к северу вдоль железной дороги от Девилс-Лейк находится Эйблман, где в высоком утесе обнажается твердый фиолетовый кварцит с красивыми отметинами ряби, указывающими на плоскость осадконакопления (рис. 11 А), который опускается вертикально и перекрывается горизонтально залегающим желтым песчаником. Выраженное угловое несоответствие, которое проявляется таким образом, дополнительно подтверждается базальным слоем конгломерата (463) в песчанике (51-53). Здесь также есть отложения лесса вдоль реки, на которых видны их вертикальные поверхности соединения (207). Солсбери и Этвуд написали превосходный геологический путеводитель по этому интересному району и соседним "Даллесам" на реке Висконсин (The Geography of the Region about Devils Lake and the Dalles of the Wisconsin и др., Bull. 5, Исх. Геол. и нац. История. Обзор., 1900, стр. 151, стр. 38, рис. 47).

Если мы взяли транспорт на озере Девилс для Эйблмана, мы можем продолжить тем же способом в Килборн, где начинаются живописные долины реки Висконсин — здесь молодое ущелье, вырубленное в песчанике, потому что Висконсин был отведен от своей старой долины к пограничному дренажу на краю зоны без дрейфа (300, 321). Боковые каньоны реки своими резкими зигзагами показывают, что их русло контролируется системой joint (224). Поднимаясь на пароходе по порогам, чтобы осмотреть Даллес, мы наблюдаем множество красивых образцов поперечного залегания песчаника (37).

Из Килборна мы продолжим наше путешествие в Миннеаполис по железной дороге Чикаго, Милуоки и Сент-Пол, а недалеко от Кэмп-Дугласа окажемся над пенепленом, из которого поднимаются выдающиеся монадни (171). В Ла-Кроссе впадает река Миссисипи, текущая под утесами из песчаника, покрытыми лессом (207). Слева видны извилины и многочисленные ответвления Миссисипи (415). Озеро Пепин - озеро в боковой дельте, перекрытое отложениями реки Чиппева (419).

Из Миннеаполиса совершается экскурсия в Форт Снеллинг, чтобы осмотреть молодое ущелье Миссисипи, прорезанное водопадом Святого Антония примерно на восемь миль, аналогично семи милям ущелья Ниагара (354), и сравнить это узкое ущелье с широкой долиной реки Уоррен, которая осушала озеро Агассис (327). Несколько выше по течению реки Уоррен находятся озера-блюдца (416).

Из Миннеаполиса путешествие можно продолжить по Великой Северной железной дороге до Ливингстона, штат Монтана, пересекая таким образом между станциями Маскода и Буффало дно озера Агассис и его окраинные пляжи (325-328). Для получения информации о местной геологии Миннесоты обратитесь к К. У. Холлу, "Геология Миннесоты", Том 1, Миннеаполис, 1903).

В Йеллоустонский парк въезжают из Ливингстона (Livingston Geological Folio, США), а выезд из него осуществляется через относительно новый терминал Юнион Пасифик на юго-западной окраине. Регулярная экскурсия по парку включает посещение нескольких бассейнов гейзеров (191-194), Обсидианового утеса (33, 463), каньона Йеллоустоун и др.

Хорошие альпинисты могут совершить побочный поход от Мамонтовых горячих источников к вершине горы Квадрант, остатку возвышенности “бисквитного разреза” (372), и там изучить процесс нивации (368, Фолио Йеллоустонского национального парка, США).

Поездка из Парка в Солт-Лейк-Сити по железной дороге Юнион Пасифик проходит через перевал Ред-Рок, бывший выход из озера Бонневиль (423), в пустыню Большого бассейна (Главы XV и XVI). Грейт-Солт-Лейк - соленое озеро или впадина с интересной историей климатических изменений (198, 401). Передняя часть хребта Уосатч, хорошо просматриваемая и до которой легко добраться из Солт-Лейк-Сити, глубоко изрезана горизонтальными береговыми террасами озера Бонневиль (198, 199), и эти террасы при каждом повторном посещении расширяются превосходными барьерными пляжами. В период плейстоцена горные ледники частично занимали долины этого хребта, хотя они не всегда простирались так далеко, как фронт горы. Биг-Коттонвуд-Каньон, который реализует это условие, и соседний Литтл-Коттонвуд-Каньон, от передней части которого ледник распространился на расширенное подножие (264), таким образом, показывают для сравнения в одном виде V и нижний U участки соответственно (172, 376). Здесь также имеются аллювиальные веера (213) и недавние разломы, которые их пересекают.

Из Солт-Лейк-Сити можно вернуться в Нью-Йорк по железной дороге Денвер-Рио-Гранде через пустыни и Королевское ущелье, каньон реки Арканзас. Полный маршрут с указанием геологических достопримечательностей на этом маршруте, продолжающийся до Чикаго, Вашингтона и Нью-Йорка, подробно представлен в вышеупомянутом руководстве по геологической экскурсии в Скалистые горы. Это не должен упускать из виду путешествующий геолог. Некоторые ссылки на пункты этого путешествия можно найти на предыдущих страницах этой книги (219-220, Высокие равнины; 170, плато Аллегейни в Западной Вирджинии; 176, уотер-гэп Харперс-Ферри; 176-177, 184-186, боковая прогулка по долине Шенандоа к пещерам Люрей и Сникерс-Гэп; 251, Чесапикский залив).

Вместо того чтобы возвращаться прямо из Солт-Лейк-Сити, путешественник, если в его распоряжении достаточно времени, может продлить свое путешествие на юго-запад через Большой бассейн до Лос-Анджелеса. Ответвление от этого маршрута выходит из долины Вегас и проходит в пределах досягаемости от знаменитой Долины Смерти (201) до Тонопы (79) и долины Оуэнс (77-78, 92), где много поверхностных разломов, образовавшихся после землетрясения 1872 года и других менее недавних возмущений. Возвращаясь к точке пересечения, маршрут продолжается через пустыни Колорадо и Мохаве в Лос-Анджелес. Из центра Лос-Анджелеса особенно интересные террасы, пещеры и нагромождения возвышенного побережья лучше всего видны вблизи Рт. Харфорд (Глава XIX). До островов Сан-Кlemente и Санта-Каталина также можно добраться из Лос-Анджелеса (239, 248, 249, 250, 256, 257, pls. 5b, 7a, 12a). Возвращение на Восток, если оно совершается по железной дороге Санта-Фе, позволяет посетить Гран-Каньон (174, 443) со станции Уильямс. Начиная с этой точки на восток, геология маршрута полностью описана в уже цитированном путеводителе Эммонса по экскурсии "Скалистые горы".

В интересах тех, кто имеет привилегию путешествовать по Европе, а их число ежегодно увеличивается, предлагается паломничество, которое может быть легко совершено в соответствии с планами, составленными на основе исторических, художественных и живописных достопримечательностей. Единственным популярным руководством общего характера, написанным для геологов, выезжающих за границу, по-видимому, является краткая, но ценная небольшая статья профессора Лейна (The Geological Tourist in Europe,

Popular Science Monthly, том 33, 1888, стр. 216-229). Издательство Gebrüder Bornträger в Берлине в настоящее время выпускает довольно ценную серию геологических руководств, посвященных особым районам и написанных известными авторитетами (Sammlung Geologischer Führer). Из этой серии уже выпущено около тринадцати номеров. Многими другими ценными местными справочниками геологического характера являются руководства Livrets Международных геологических и географических конгрессов и аналогичные брошюры, предоставляемые в связи с ежегодными собраниями национальных или провинциальных геологических обществ.

Пассажиры пароходов, отплывающих из гавани Нью-Йорка, проходят через глубоко затопленный каньон (252), в значительной степени заполненный ледниковыми отложениями, через Нэрроуз (174) и в поле зрения Сэнди-Хук, модифицированной косы (238, 240). Слева видны большие моренные скопления на границе оледенелой области на Лонг-Айленде (298). В ходе трансатлантического путешествия можно встретить айсберг большой округлости (291), хотя это гораздо чаще встречается на северных маршрутах из Квебека и в конце сезона. При входе в Ла-Манш земля на обоих побережьях поднимается крутыми скалами, на которых хорошо развиты все обычные береговые черты (глава ii). XVIII). Немецкие пароходы проходят в виду Гельголанда, этого последнего остатка волновой эрозии (236).

Во время путешествия по Европе учащийся должен ознакомиться с картой оледенелой области (299) и таким образом научиться распознавать ее особенности и тщательно отмечать ее краевые морены (311) и другие четко обозначенные особенности.

Если вы посещаете Британские острова и выбираете более труднопроходимые районы, то можете изучить цирки и другие характерные особенности из-за наличия горных ледников вокруг Сноудона (глава ii). XXVI). Более зрелые стадии тех же процессов можно обнаружить в Шотландском нагорье и на Внутренних Гебридских островах, но особенно на острове Скай (рис. 492). Очень ценным пособием для экскурсий по этому району являются "Шотландия" Бэддели (часть I, Дулау, Лондон) и Пояснительные заметки сэра Арчибальда Гейки к "Геологической карте Шотландии" Бартоломью (карта и примечания в обложке, Эдинбург, 1892, стр. 23).

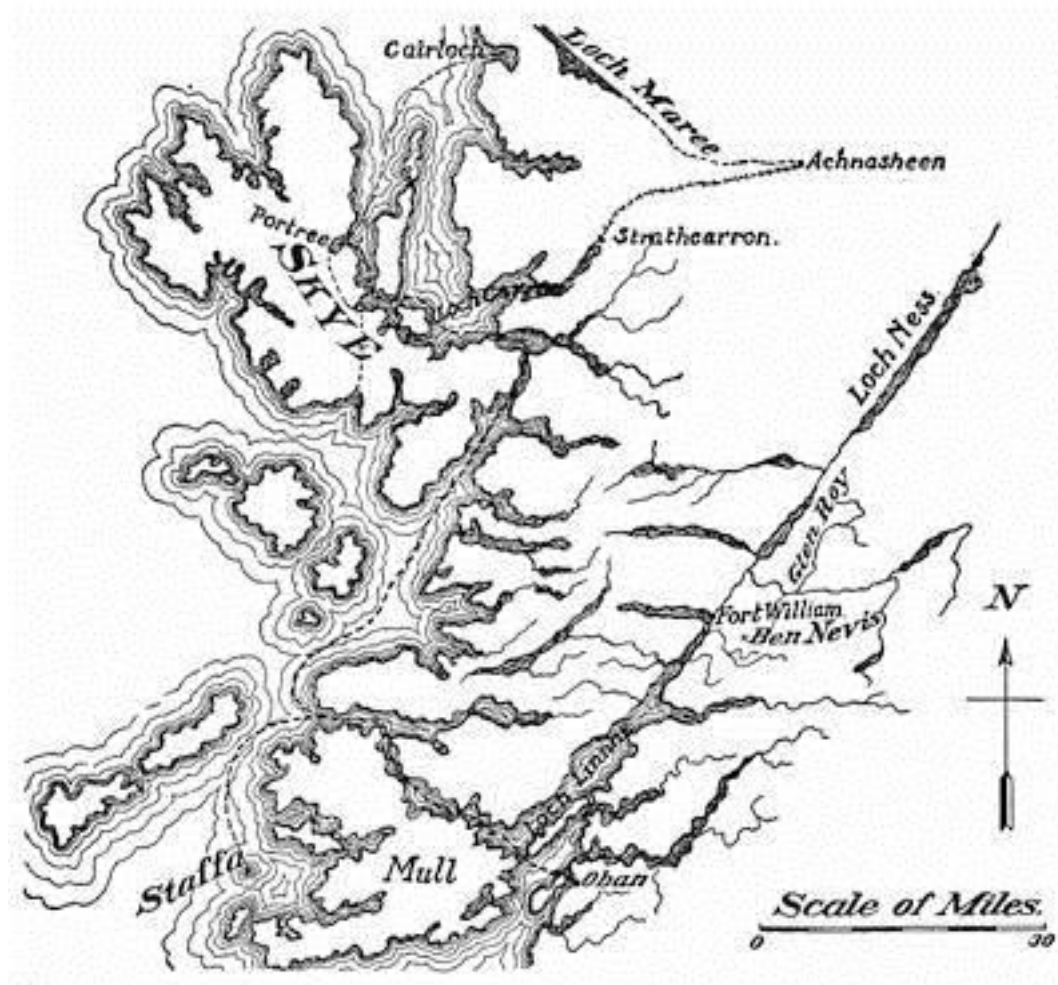


Рис. 492. Схема карты Западной Шотландии и Внутренних Гебридских островов, на которой показано расположение некоторых точек, представляющих особый геологический интерес.

Именно из Обана, “высокогорного хребта Чаринг-Кросс”, следует отправляться на летних пароходах, чтобы добраться до Скай и Стаффы, последнего с прекрасными базальтовыми колоннами (463) и пещеры Фингалса. Плывая на Скай, проходишь по обоим берегам узких фьордов мимо множества реликвий, оставшихся при вскрытии вулканов (139-143 и сэр А. Гейки, " Древние вулканы Великобритании", том. II); также скалистые острова и шхеры, отмечающие погружение (252), и береговые террасы, отмечающие более позднее поднятие (250). Скай представляет собой комплекс из множества интрузивных и вулканических пород такого заметно отличающегося цвета, что они выглядят как оттенки в ландшафте. На темно-зеленых холмах Кучиллин возвышается массив габбро (462), разрезанный цирками на зубчатые вершины рогов и гребневые гребни (373); в то время как ниже и восточнее находятся округлые купола риолита (463), истертые под ледниками и имеющие нежный лососевый оттенок. Еще ниже и к западу находятся плоские горные массивы, состоящие из горизонтальных слоев черного базальта, покрытые богатым ковром из ярчайшей зелени. На востоке, за каналом, видны пурпурные стены из древнего песчаника. Зубчатая габбровая сердцевина острова, таким образом, представляет собой рельефную возвышенность (372) и в настоящее время является тренировочной площадкой альпинистов (Абрахам, Скалолазание в Скае, Лонгманс, Лондон, 1908), в то время как на дне долины U расположено озеро Лох-Коруиск, типичное озеро в скалистой впадине (412), берега которого из твердых пород выровнены и изрезаны.

Со Ская мы можем отправиться изучать замечательные выступы (45) на северном берегу озера Лох-Мари, имеющие четкую линию и направленные под прямым углом к руслу Каледонского канала, соединяющего Лох-Линн с Озером Несс. Эта северо-восточная стена озера Лох-Мари представляет собой поразительно прямолинейный разлом, представленный откосом, вверх по которому мы взбираемся, чтобы обнаружить на вершине раздробленные и рифленые плоскости надвига, наклоняющиеся на юго-восток под плоским углом. Здесь также есть красивые скалистые озера, расположенные во впадинах, образовавшихся под континентальным ледником. По пути со Ская мы проехали Лох-Каррон, морское озеро или фьорд (252), и вдоль пролива в его верховье, известного как Страткаррон (428).

Возвращаясь теперь в Обан, отметим, что это всего лишь короткая поездка на пароходе вверх по озеру Лох-Линн до Форт-Уильяма вдоль поразительной линии (226), которая продолжается до озера Лох-Несс и дальше (рис. 492), а оттуда по железной дороге до Глен-Роя и соседних долин Лохабер (322-325).

Из Парижа в качестве отправной точки мы можем посетить в самом живописном регионе прекрасно сохранившиеся кратеры потухших вулканов в Оверни в Центральной Франции (105, 124, 145), в район которого можно попасть из Клермон-Феррана. Здесь обнаружены характерные пуйсы, крутые лавовые купола из вязкой лавы (105), которые в значительной степени фигурировали в ранних спорах геологов о происхождении горных пород.



Рис. 493. Схема геологического паломничества по европейскому континенту.

Остальная часть нашего паломничества будет спланирована таким образом, чтобы войти в благородную реку Рейн в ее устье (рис. 493), подняться по ее течению к месту ее зарождения в снегах Швейцарии и после дальнейшего изучения особенностей этого причудливого нагорья пересечь северную и центральную Италию, чтобы отправиться в Америку южным маршрутом. Вступая затем на этот путь в Нидерландах, мы сначала имеем возможность наблюдать характеристики большой дельты с естественными дамбами, искусственно укрепленными в виде дамб (165-168). Здесь также встречаются дюны из пляжного материала, которые были подняты ветром в огромный вал недалеко от берега (209-211). Такая стена дюнного песка хорошо видна на курорте для купания в Схевенингене недалеко от Гааги (421). Пойму Рейна (162-165) можно изучить во время путешествия вверх по реке до университетского городка Бонн, откуда однодневную экскурсию следует посвятить остаткам вулканов, известных как Семь гор (Х. фон Дечен, "Геогностический фюрер" в "Зибенгебирге", Бонн, 1861). В качестве подготовки к этой и другим поездкам в вулканический Эйфель выше по реке следует посетить коллекции минералов и горных пород в замке Поппельсдорфер при

университете. В вулканическом Эйфеле находятся некоторые из самых интересных кратерных озер (405), самым крупным из которых является озеро Лаах с его несколько своеобразными вулканическими выбросами и живописным аббатством (см. фон Дечен, Геогностический фюрер цу вулканического района Фордер-Эйфель и др., Бонн, 1886. Проконсультируйтесь также с Лейном, туристом-геологом в Европе, l.c.).

Продолжая наш путь вверх по реке от Бонна, мы вскоре входим в ущелье Рейна, прорезанное в возвышенной пенеплене (169, 171, 174). Из Кобленца, где Мозель впадает в Рейн, можно совершить боковую поездку вверх по этому притоку реки мимо Целля с его укрепленными извилинами (173) к древнеримскому городу Трев. Над Бингеном на Рейне мы оставляем позади узкое ущелье и быстрое течение реки и продолжаем движение по широкому дну рифтовой долины (403), лежащей между лесом Одина и Шварцвальдом на востоке и "Голубыми Эльзасскими горами" далеко на западе. На окраинах этой равнины находятся пласты лесса с их характерными структурами сочленения и включениями (207), а на более высоких холмах с обеих сторон - множество интрузивных магматических пород.

У входа реки Неккар на эту широкую равнину приютился живописный замок и университетский городок Гейдельберг, удобный центр для экскурсий (Юлиус Руска, "Геологическая Стрейфзюге в Гейдельбергском Умгебунге" и др., Негеле, Лейпциг, 1908, стр. 208, карта). В Страсбурге (Шварцвальдштрассе, 12) расположена Главная станция Германии по изучению землетрясений, оснащенная особенно большим набором современных сейсмографов. В университетском кабинете также находится одна из крупнейших и наиболее представительных коллекций минералов в Европе. For excursions in the neighborhood consult Benecke, Sammlung Geognostische Führer, Vol. 5, Elsass, 1900.

Из Страсбурга мы можем отправиться по железной дороге Шварцвальда в Хегау с его вулканическими извержениями (140), каждое из которых увенчано живописным замком. Далее мы въезжаем в широко раскинувшийся участок пьемонтского фартука, над которым Боденское озеро все еще остается пограничным озером (399). Поочередно встречаются перемычные полосы (314), морены (311) и друмлины (317). Все еще продолжая наш путь вверх по Рейну от Брегенца, мы въезжаем на изрезанную возвышенность (372) Альп, горы, состоящие из огромных складок и выступов вокруг ядра интрузивной породы (Ротплетц, Саммлунг Геологического фюрера, Том 10, 1902, Выступы в Альпах между Боденским озером и Энгадином). Примерно в четырнадцать миль выше Кура мы проезжаем террасу, образованную последовательными оползнями (414), известную повсюду как Флимсер Бергштурц. Дальнейший подъем по каскадной лестнице в этой изрезанной ледником долине приводит нас к перевалу Фурка, с которого открывается великолепный вид на покрытое резьбой нагорье. В Канцли, в миле от отеля, открывается вид на Неве ледника Рона, который также легко посетить.

Теперь мы проследовали вдоль великой реки от ее устья в песках Голландии до истока в снегах высокогорных Альп. Пересекая водораздел и спускаясь к Глетчу, мы можем наблюдать нижнюю оконечность, или подножие, ледника Рона, а также расщелины и ущелья (391) на крутом спуске этого расходящегося ледника (383, 386). Реакция ледников на климатические изменения здесь хорошо проиллюстрирована отступлением фронта ледника от района расположения отеля (его положение в 50-х годах девятнадцатого века) до его нынешнего положения примерно в миле дальше вверх по долине.

Характеристики покрытой ледником горной долины можно дополнительно проиллюстрировать, поднявшись на перевал Гримзель, который изрезан царапинами и

бороздками (377, 385), а затем спустившись по долине реки Аар в Мейринген (377). Рядом с хосписом Гримзель находятся характерные озера скального бассейна (412), а на леднике Аар слева от нас проводились эпохальные исследования Луиса Агассиса, основателя ледниковой теории, объясняющей дрейф. Мы натываемся примерно на тринадцать рок-баров (377). Непосредственно перед въездом в Мейринген мы проезжаем последнее из них, ущелье Аар, прорезанное ручьем в известняке.

Интерлакен (419) может стать центром дополнительных экскурсий по долине Лаутербруннен с ее выдающимися альбами (376) и ленточным водопадом Штауббах (378). По горной железной дороге Юнгфрау мы теперь можем частично подняться по туннелям в скале к Эвигейсмиру и посмотреть вниз на невеликий и бергшунды Великого ледника Алеч (370, см. Baltzer, Sammlung Geologische Führer, Том 10, Бернский Оберланд, 1906). Возвращаясь в Интерлакен через Гриндельвальд, можно осмотреть подножие расходящегося ледника Унтергриндельвальд с его туннелем и молочно-белым извилистым ручьем.

Пересекая теперь Альпийский холм до Вильнева в верхней части Женевского озера и на хорошо развитом участке (426, 428), мы можем любоваться мутными водами, простирающимися далеко от берега озера. Путешествуя в Женеву на пароходе, мы отмечаем постепенное очищение воды, пока на выходе из озера она не становится прозрачной как хрусталь. Пешая прогулка из Женевы приведет нас в лесной массив Бати, где Арве с мутными водами встречается с этим чистым ручьем (427).

Железная дорога в Шамони поднимается по другой каскадной лестнице (376), откуда открываются виды на сложенные осадочные породы (43), а в самом Шамони мер-де-глас предоставляет возможности для изучения морен (386, 393) и движения ледников (390-392). Опытным альпинистам с вершины Маунт-Блан открывается удивительно обширный вид на изрезанную альпийскую возвышенность (фото 18 А). Со станции Лефайе ниже Шамони можно подняться на Плато, где из-за растворения известняка образовались трещины (188).

Перейдя через один из перевалов в долину Роны в Мартиньи, мы можем добраться до Церматта, сегодняшнего альпинистского центра Альп. С нижестоящих цирков, окружающих эту деревню, спускаются Горнер, Финделен, Санкт-Теодул и другие компоненты этого расходящегося ледника. Черный зуб скалы, Маттерхорн, возвышается над другими вершинами и с наибольшим преимуществом демонстрирует эту особенность ледниковой скульптуры (374), в то время как ущелье Горнер представляет собой обрывистый скальный выступ, подобный ущелью Аар (377). Пешком или по горной железной дороге мы можем подняться на Горнер Грат, подчиненный гребневой хребет (373), с которого открывается один из самых великолепных и поучительных видов на расходящиеся ледники.

Из Брига, расположенного дальше по долине Роны, совершается экскурсия в отель Eggishorn, центр изучения Большого ледника Алеч (329, 371, 385, 388, 395, 410). Легкий подъем на Эггисхорн вознаграждается видом почти прямо вниз, на покрытое льдом озеро Марьелен (329, 411).

Из Брига можно попасть в Италию либо по живописному Симплонскому маршруту пешком или на дилижансе, либо под ним через железнодорожный туннель. Чередую короткие поездки на пароходе и по железной дороге, путешествие продолжается в направлении, поперечном более длинным осям пограничных озер Маджоре, Лугано и Комо, а затем на юг, в Милан. Покидая деревню Комо, мы проезжаем над мощными моренными отложениями на краях ледника расширенного подножия (383, 385), который когда-то занимал долину выше. На пути из Милана в Венецию, по плодородным равнинам Ломбардии, подобные скопления около озера Гарда (414) впервые встречаются на маленькой станции Лонато и остаются

позади в Сомма Кампанья (Торнквист, Саммунг геологического фюрера, том 9, Северная Италия, 1902).

Город Венеция построен на свайном фундаменте в лагуне за барьерным пляжем, известным как Лидо (242, 428-429). Отсюда мы можем добраться до Карстовой страны через Триест, некоторые из наиболее интересных и типичных объектов находятся недалеко от Дивачи (187-189, 422, стр. 6 А). В противоположном от Венеции направлении, через Беллуно, мы въезжаем в Доломитовые Альпы с их узорчатым рельефом и зубчатыми башнями (228, 445).

Дополнительными центрами для геологических экскурсий по маршруту к нашему пункту отправления из Италии являются Рим и Неаполь. В итальянской столице и в ее окрестностях мы можем изучить вулканическую Кампанью с ее слоями туфа (105) и ее кратерными озерами (405. См. Сэр А. Гейки, Римская Кампанья, Ландшафт в истории и другие очерки, Macmillan, 1905, стр. 308-352; также Дикке, Саммунг геологического фюрера, том 8, Кампанья, 1901). Из Рима легко добраться до водопада Тиволи с его залежами травертина (184). В противоположном направлении от Рима, через Кампанью, возвышаются Альбанские холмы, руины сложного конуса с несколькими кратерными озерами на месте бывших жерл. На вершине окружающего края кратера, подобно Монте-Сомме Везувийской горы, ныне имеющей форму полумесяца, расположена главная итальянская станция по изучению землетрясений.

Из Неаполя мы можем совершить короткие экскурсии и с некоторой тщательностью изучить все еще действующие вулканические горы. На востоке находится гора Везувий (94, 97, 122, 124, 127-137), извержение которой произошло в апреле 1906 года. К западу от Неаполя находятся Кампи Флегрейи, или горящие поля, со множеством кратеров. Среди них Astroni предлагает прекрасный пример шлакового конуса с крупными кратерами (105). В той же близости находятся Монте-Нуово (96) и Сольфатара (97), последний тип вулкана, который больше не извергает лаву, но вместо нее выделяет углекислый газ и другие газообразные выделения (Грот дель Кане). Отправной точкой для экскурсий по Флегрейским полям является Поццуоли с его храмом Юпитера Сераписа (254-255), куда можно добраться из Неаполя по электрической линии, которая проходит через стену огромного кратера (Позилиппо), состоящего из мелкого желтого вулканического пепла, известного как Поццуолан.

Из Неаполя пароходы совершают короткие экскурсии в Сорренто с его глубокими отложениями пепла и на Капри с его голубым гротом (257-258). Геркуланум (139) и Помпеи (122), погребенные во время извержения вулкана в 79 году н.э., находятся на линии Круговезувийской железной дороги.

Пароходы, следующие в Нью-Йорк из Неаполя, заходят в Гибралтар, по преимуществу (241,,,). Большинство пароходов южного маршрута проходят через вулканические острова Азорских островов или вблизи них, а некоторые суда заходят в Алжир, откуда железнодорожная ветка ведет в Бискру на границе пустыни Сахара.

Во время этих паломничеств путешественник должен быть начеку и обращать внимание не только на фактор, ответственный за особенности, которые попадают под его наблюдение, но, особенно там, где это обычный формирующий фактор проточной воды, он не должен упускать из виду стадию цикла эрозии, которая представлена (Глава XIII).

Напечатано в Соединенных Штатах Америки.

СНОСКИ:

[1] По-итальянски означает рот; множественное число *bocchi*.

[2] Эти модели и аппарат для контурной пластики в настоящее время производятся для использования в школах и колледжах фирмой Eberbach and Son, Энн-Арбор, Мичиган.

[3] Эта глина изготовлена компанией A. H. Abbott Company, арт-дилеры, Уобаш-авеню, Чикаго.

[4] Цифры в скобках относятся к страницам этой книги, где можно найти дополнительную информацию.

ПРИМЕЧАНИЕ ПЕРЕПИСЧИКА:

—Очевидные опечатки были исправлены автоматически. Все остальные варианты орфографии, пунктуации и ударений оставлены без изменений.

— К табличкам добавлена окантовка.